

CORNEL MITOIU GABRIELA MARIN

## REGULARIZAREA ALBIILOR DE RÂURI

ISBN 973-9493-12-2

REGULARIZAREA ALBIILOR DE RÂURI  
CORNEL MITOIU GABRIELA MARIN

CURSURI UNIVERSITARE

CU

CORNEL MITOIU GABRIELA MARIN

## REGULARIZAREA ALBIILOR DE RÂURI

ÎNDRUMAR DE PROIECTARE





Lucrările publicate în seria CURSURI UNIVERSITARE au avizul catedrei de  
specialitate din Universitatea Politehnica București

prof.dr.ing. Cornel Mitoiu

conf.dr.ing. Gabriela Marin

În seria *CURSURI UNIVERSITARE*

au mai apărut:

- 35. Managementul financiar și contabilitate pt. manageri nefinanțisti - M. Costache
- 36. Inginerie financiară - Maria Costache
- 37. Acționări și comenzi hidropneumatice - D. Vasiliu, N. Vasiliu, C. Călinoiu
- 38. Grafică pe calculator - D. Vasiliu, C. A. Roșu, C. Diașoi
- 39. Fiabilitatea și mentenabilitatea sistemelor - Mihai Bayer
- 40. Elemente de ecologie - Viorica Nisteanu, Valeriu Nisteanu
- 41. Ingineria separărilor cu membrane - R. Dima, V. Pleșu, C. L. Gijiu
- 42. Cours de culture technique et d'élitisation - J. Galan, C. E. Coteș
- 43. Extrudarea metalelor și aliajelor - Ghe. Chelcu
- 44. Amenajarea resurselor de apă și impactul asupra mediului - Valeriu și Viorica Nisteanu
- 45. Desen tehnic industrial - D. Dobre, I. Simion
- 46. Bazele teoretice ale deformării plastice - Cazimirovici Eugen
- 47. Mecanica fluidelor și mașini hidraulice - I. Seteanu, D. Broboană, A. Marin
- 48. Parametrii de așchiere la prelucrarea prin strunjire - M. Pleșca și Gh. Amza
- 49. Ingineria raurilor - regularizarea raurilor și îndiguirii - C. Mitoiu, G. Marin

În seria *CURSURI UNIVERSITARE - PROBLEME ȘI APLICAȚII*

au apărut:

- I. Prelucrări mecanice pe mașini-unelte - G. Calca, F. Dumitrașche, M. Pleșea, G. Gârleau, M. Dumitraș
- II. Geometrie Descriptivă - D. Marin, L. Raicu, S. Ioniță, D. Dobre, G. Oprea, L. Petrescu, Ș. Minculescu
- III. Desen tehnic - Elena Drăgulănescu, Ermina Țapu
- IV. Ambreiaje și cuplaje de siguranță cu fricțiune - A. Tudor, F. Ilie, I. Marin
- V. Extensiometrie - C. Decolon, F. Simion, M.D. Simion
- VI. Organe de mașini - Filip Ilie
- VII. Rezistența materialelor - N. Iliescu, C. Atanasiu, Gh. Radu, G. Jiga

Seria CURSURI UNIVERSITARE apare sub îndrumarea unui *Consiliu Editorial Științific* format din cadre didactice universitare și specialiști recunoscuți, coordonat de:

Prof. dr. ing. C. Berhente, Prof. dr. ing. I. Constantin,  
Prof. dr. ing. C. Ispas, Prof. dr. ing. M. Marinescu,  
Prof. Dr. ing. M. Covrig, Prof. dr. ing. C. D. Ionescu, Prof. dr. ing.  
C. Minciu, Prof. dr. ing. A. Vlase, Conf. dr. ing. I. Ganea

## REGULARIZAREA ALBIILOR DE RAURI

### ÎNDRUMAR DE PROIECTARE

Editura BREN,  
București  
1999

Copyright © BREN, 1999  
Toate drepturile sunt rezervate editurii

Adresa: BREN  
Str. Lucăcești nr. 12, sector 6  
București  
Tel/Fax: 2.23.43.47  
6.37.21.55

Referent științific : Prof. dr. docent SIMION HÂNCU

Bun de tipar: 17.09.1999  
ISBN 973-9493-12-2  
Tipar: BREN PROD  
IMPRIMAT ÎN ROMÂNIA

## CUPRINS

1.1 Introducere. Definiții. Concepții actuale de proiectare.....	1
1.1.2. Concepții actuale cu privire la soluțiile de regularizare a albiilor cursurilor de apă.....	2
1.2. Caracteristicile și scopul lucrărilor de regularizare a albiilor râurilor.....	4
1.2.1. Caracteristicile lucrărilor de amenajare a albiilor cursurilor de apă.....	4
1.2.2. Scopul lucrărilor de amenajare a albiilor.....	4
1.3. Criterii și principii generale de proiectare.....	5
1.3.1. Criterii generale de proiectare pentru amenajarea albiilor.....	5
1.3.2. Principii generale de proiectare a albiilor regularizate.....	6
1.4. Pagube și risc acceptat.....	7
1.4.3. Calculul pagubelor produse de inundații.....	10
2. Studii necesare pentru proiectare.....	13
2.1. Studii topografice.....	14
2.2. Studii climatice.....	14
2.3. Studii hidrologice și hidraulice.....	14
2.4. Studii geotehnice și hidrogeologice.....	15
2.5. Studii de dezvoltare social – economică a zonei.....	15
2.6. Studii asupra surselor locale de materiale.....	16
3. Calcule hidraulice pentru dimensionarea lucrărilor de regularizare.....	16
3.1. Debitul de apă caracteristic.....	16
3.2. Calculul hidraulic al curbei suprafeței libere a apei.....	17
3.3. Determinarea nivelurilor maxime pentru lucrările de regularizare cu caracter local.....	27
3.4. Determinări hidraulice în secțiuni strângute.....	35
4. Proiectarea lucrărilor de amenajare a albiei minore.....	38
4.1. Relații morfometrice.....	38
4.1.2. Relații bazate pe echilibrul limită al particulelor de fund.....	40
4.1.3. Relații bazate pe disiparea energiei circulației transversale.....	40
4.1.4. Relații morfometrice pentru canale artificiale.....	41
4.2. Elementele caracteristice ale albiei minore stabile.....	42
4.2.1. Nivelul de regularizare.....	42
4.2.2. Traseul de regularizare.....	42
4.2.3. Profilul longitudinal al albiei regularizate.....	44
4.2.4. Secțiunea transversală stabilă.....	47
5. Proiectarea digurilor.....	50
5.1. Traseul digurilor.....	50
5.2. Profilul longitudinal al digurilor.....	51
5.3. Cota coronamentului digurilor.....	52
5.4. Secțiunea digurilor.....	54
5.5. Calculul stabilității digului.....	55
5.6. Calculul curbei de infiltrație și a debitului infiltrat prin corpul digurilor.....	59
5.7. Verificarea stabilității terenului de fundație.....	64

6. Lucrări pentru crearea și fixarea albiei.....	65
6.1. Lucrări de terasamente.....	65
6.2. Lucrări pentru fixarea albiei regularizate proiectate.....	70
6.3. Lucrări de apărare.....	73
6.3.1. Criterii de bază la alegerea soluțiilor.....	73
6.3.2. Clasificarea lucrărilor de apărare.....	74
6.3.3. Apărări de mal deasupra nivelului mediu al apelor.....	75
6.3.4. Apărări, susțineri și consolidări de maluri.....	89
6.4. Lucrări de regularizare cu caracter local.....	94
6.4.1. Diguri longitudinale.....	94
6.4.2. Diguri de închidere, traverse de compartimentare și colmetere.....	97
6.4.3. Epiuri.....	99
6.4.4. Praguri de fund și baraje de reținere a aluviunilor.....	104
7. Calcule de dimensionare și stabilitate.....	107
7.1. Dimensionarea saltelei și a pietrei.....	107
7.2. Calculul elementelor de apărare.....	111
7.3. Acțiunea valurilor.....	113
7.4. Acțiunea gheții.....	120
7.5. Filtrul de protecție.....	124
7.6. Stabilitatea elementelor îmbrăcămintilor.....	128
7.7. Stabilitatea apărării de mal la alunecare.....	129
7.8. Stabilitatea zidului de apărare la alunecare.....	131
Bibliografie.....	137

## 1.1 INTRODUCERE. DEFINIȚII. CONCEPȚII ACTUALE DE PROIECTARE

Lucrările de regularizare a albiilor râurilor s-au impus ca o necesitate în valorificarea și în gospodărirea apelor, dar mai ales în combaterea efectelor distructive ale apelor.

Inundațiile sunt fenomene naturale care, datorită proporțiilor și frecvenței lor, au consecințele cele mai grave asupra activităților umane. Din cele mai vechi timpuri există mărturii cu privire la inundațiile cu caracter catastrofal care au avut loc în lume. Nici România nu a fost crutată de inundații. Suprafața totală inundabilă a țării depășește 1 milion de hectare, iar dintre inundațiile cu caracter excepțional din acest secol menționăm pe cele care au avut loc în anul 1932 în Moldova, în 1941 în Muntenia, în 1970 în jumătatea de nord a țării și din lunca Dunării, cele din 1975 din sudul țării, cele din 1991 din Moldova și din decembrie 1996 din nordul și centrul țării.

Asemenea fenomene au determinat omul, să caute și să găsească metode de apărare. Există mărturii că, din mileniul 3 î.e.n. marile orașe din valea râului Ind erau apărate împotriva inundațiilor prin diguri. Progresiv, tehnica lucrărilor de combatere a inundațiilor a evoluat, atingând complexitatea celor contemporane. Odată cu dezvoltarea societății umane, apare necesitatea crescândă de securitate, prin creșterea fondurilor de investiții disponibile și alocate pentru realizarea lucrărilor de combatere a inundațiilor; evident că nu toate obiectivele inundabile vor putea fi aduse simultan la gradul de apărare stabilit prin norme. Ca urmare apare necesară etapizarea măsurilor și lucrărilor necesare, astfel încât trecerea la creșterea gradului de apărare să se facă progresiv.

Problema combaterii inundațiilor constă în găsirea celor mai adecvate lucrări hidrotehnice de amenajare a cursurilor de apă pentru evitarea pagubelor produse de inundații. Urmare acestui deziderat oamenii au realizat și realizează în prezent ample lucrări de îndiguire sau și lucrări de atenuare a undelor de viitură. Dar acestea nu sunt suficiente decât nu se combină cu măsuri non-structurale, care au alt caracter decât cel hidrotehnic.

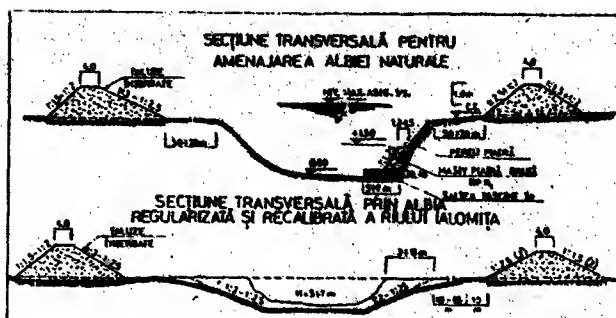
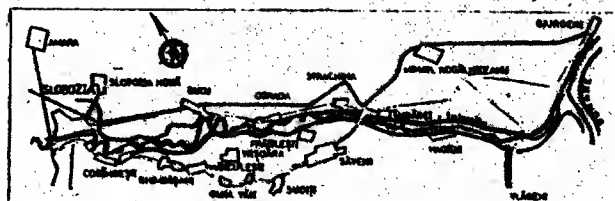
În lucrările de față ne ocupăm de realizarea proiectelor de regularizare a albiilor de râuri și îndiguiri.

### DEFINIȚII

Prin lucrări de regularizare a albiilor de râuri se înțeleg acele lucrări care, acționând simultan asupra traseului în plan, asupra secțiunilor de scurgere și profilului longitudinal al cursului de apă, conduc la obținerea unei albie stabile cu scurgere cât mai uniformă și cu variații cât mai mici ale vitezei.

Râurile își croiesc singure albia în diverse condiții geomorfologice, urmând continuu drumul energetic cel mai scurt. Acționând asupra rocii peste care curg, râurile își modelează albia în forme care diferă de la o secțiune la alta. Din depozitele sedimentare râurile antrenează materialul aluvionar; îl transportă și, unde capacitatea curentului de apă se reduce sub debitul solid târât sau în suspensie, îl depune. Sunt, însă sectoare de râu pe care capacitatea de transport este aproximativ egală cu debitul solid târât sau în suspensie. Aceste sectoare sunt de obicei numite *sectoare model* sau *sectoare de echilibru morfologic*, deși acest echilibru este instabil, la limită, întrucât orice perturbare care intervine conduce la modificări ale albiei atât în plan vertical, cât mai ales în plan orizontal. Modificările în plan orizontal ale albiilor râurilor se manifestă prin eroziuni de mal, meandre, străpungeri de meandre, surpări de maluri ș.a., în unele cazuri, mai ales în timpul apelor mari, având un caracter foarte violent.

Pentru apărarea bunurilor din zona malurilor albiilor de râuri pentru stabilizarea albiei în plan orizontal, dar și în plan vertical, oamenii au realizat lucrări numite *lucrări*



Principalele volume de lucrări:

- săpături	3920000
- umpluturi	3655500
- piatră brută	130000

#### PRINCIPALELE CARACTERISTICI:

- 83,3 km diguri pentru apărarea contra inundațiilor;
- regularizarea albiei minore prin execuția a 6,1 km de tăieri de coturi și consolidarea malurilor pe o lungime de cca. 18000 m.

Fig. 1. AMENAJAREA RĂULUI IALOMIȚA  
ZONA I DUNĂRE - SLOBOZIA

de regularizare. Desigur, la realizarea acestor lucrări s-au pus probleme de eficiență, de rezistență, de cost, durată de execuție, materiale, de tipuri, formă, dimensiuni ș.a.

Soluțiile acestor probleme sunt condiționate de cunoașterea *problemelor de hidraulică*, respectiv de cunoașterea interacțiunii între curentul de apă, construcție, albie mobilă și debit solid.

Sectoarele de albie stabilă, sectoarele model, sunt acceptate drept sistem de referință în determinarea coeficienților din relațiile morfometrice. Aceste relații morfometrice se consideră *statistic valabile și în cazul albiilor regularizate* care trebuie să corespundă cât mai bine capacității de transport al debitului solid. Lucrările de regularizare dimensionate corespunzător albiilor *stabile* sunt la minimum solicitate de curent.

#### 1.1.2. CONCEPȚII ACTUALE CU PRIVIRE LA SOLUȚIILE DE REGULARIZARE A ALBIILOR CURSURILOR DE APĂ

Utilizarea rațională a investițiilor, a resurselor de materii prime și combustibililor, în actuala conjunctură economică mondială, constituie și pentru țara noastră o preocupare majoră în toate sectoarele de activitate.

În domeniul amenajărilor complexe de gospodărire a apelor există încă posibilități de îmbunătățire a activității, în lumina acestor cerințe, pentru realizarea unor construcții de calitate și fiabilitate ridicată, folosind soluții și tehnologii perfecționate care să conducă la scurtarea duratei de execuție, creșterea productivității muncii, reducerea consumului de materiale și energie, precum și a costului lucrărilor.

Trebuie să arătăm de la început că lucrările de regularizare, prin specificul lor sunt condiționate de o serie de elemente variabile de la caz la caz, ceea ce determină de regulă, un caracter de unicat pentru asemenea amenajări. Ca urmare nu este posibil să se stabilească soluții universale valabile, ci numai o serie de principii generale ce trebuie adaptate la fiecare situație caracteristică în parte.

Din experiența acumulată până în prezent se pot evidenția următoarele aspecte:

I. Pentru amenajarea cursurilor de apă nu pot fi propuse soluții generale, universale valabile, întrucât fiecare curs de apă are particularitățile sale proprii, specifice zonelor pe care le străbate.

Se pot aplica însă, o serie de principii generale care pot conduce la rezultate bune, dacă sunt aprofundat analizate.

II. Realizarea lucrărilor de regularizare și îndiguiri în condiții economice și de fiabilitate ridicată, necesită o concepție care să aibă la bază o analiză minuțioasă a tuturor factorilor, principiilor și posibilităților materiale, începând încă de la schema generală de amenajare, până la procesele tehnologice. Modificările care se fac pe parcursul execuției la soluția de amenajare au numai un efect limitat, în detrimentul calității, reprezentând în fapt măsuri de ultimă urgență luate pentru remedierea unor soluții insuficient studiate inițial. Eliminarea pe parcurs a execuției unor tăieri de coturi, aprecierea eronată a rugozității sau de multe ori o investiție redusă, nerațională, pot genera un efort mare în exploatare, pentru menținerea în stare de funcționare a lucrărilor realizate.

III. Pentru îmbunătățirea concepției privind soluțiile de regularizare și îndiguire a cursurilor de apă se consideră necesar ca în viitor să se aibă în vedere următoarele:

1. Schema generală de amenajare a unui curs de apă trebuie să se încadreze în amenajarea complexă a bazinului hidrografic respectiv. Deci trebuie să se țină seama

pe de o parte de efectul lucrărilor existente, pe de altă parte de lucrările ce se vor realiza cu certitudine în următorii 5 ani.

2. În calculele de dimensionare trebuie avuți în vedere coeficienții de rugozitate corect adoptați, corespunzător caracteristicilor albiei naturale, a lucrărilor executate în albie și a condițiilor de exploatare și întreținere a lucrărilor.

3. În cadrul soluției generale de amenajare trebuie să se țină seama atât de efectele pozitive ale folosințelor silvice în cazul apelor mici, cât și de cele negative în cazul apelor mari (reducerea capacității de transport).

4. Referitor la soluțiile de regularizare se menționează:

- lungimea cursului natural să se scurtaze cât mai puțin, prin rectificarea traseului albiei minore, tăindu-se numai coturile pronunțate, ținându-se seama de gredul de sinuozitate a râului pe sectoarele model;
- în zonele neîndiguite, îndiguita pe un singur mal sau pe ambele maluri, dar cu diguri depărtate, să se prevadă canale pilot pentru rectificarea tresei albiei minore;
- să se evite la maximum reprofilările de maluri, menținându-se consolidarea lor naturală.

5. La stabilirea traseului digurilor să se aibă în vedere printre altele:

- reducerea dezastruării debitelor maxime;
- menținerea axului hidraulic de curgere a apelor mari;
- evitarea menținerii unor meandre părăsite în spatele digurilor, care rămân, de obicei pline cu apă și nefolosite;
- asigurarea unui spațiu de siguranță între dig și mal, prin adoptarea unei distanțe judicioase, reducându-se astfel și volumul consolidărilor de mal;
- amenajarea unor compartimente îndiguite la cote mai joase față de îndiguirea generală, acolo unde se justifică tehnic și economic.

6. Pentru reducerea costului apărărilor de mal se impun unele măsuri, din care amintim:

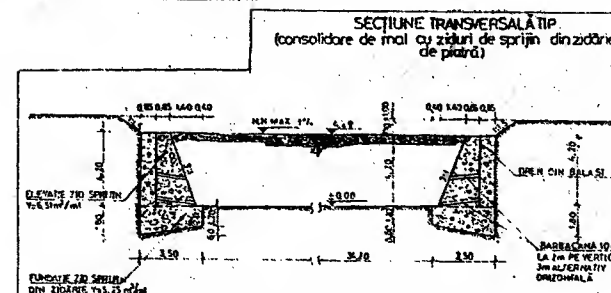
- diversificarea tipurilor de consolidări și îmbunătățirea criteriilor de alegere, avându-se în vedere și caracteristicile geotehnice ale albiei;
- folosirea cu precădere a soluțiilor elastice;
- utilizarea la maximum a materialelor locale, în vederea reducerii consumului de carburanți, ciment, etc.;
- extinderea folosirii deșeurilor cu goluri, a cadrelor prefabricate din beton și a geogriurilor;
- diversificarea și extinderea consolidărilor biologice tipizate.

7. Introducerea unor tehnologii cât mai economice, cu un cost scăzut, cu productivitate fizică mare, pentru scurtarea duratei de execuție, care să aibă în vedere următoarele criterii:

- evitarea sau reducerea compensărilor longitudinale sau a împrăștierii surplusurilor de terasamente;
- folosirea utilajelor complexe, care se dovedesc mai economice și cu productivitate fizică mare (scrapere, autoscrapere);
- folosirea zonei dig-mal pentru umpluturi în corpul digurilor

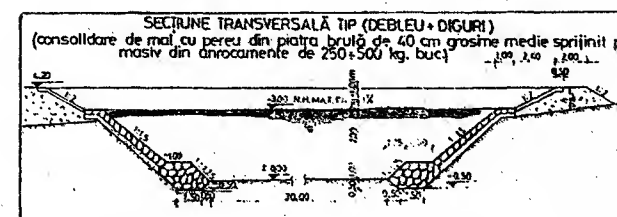


REGULARIZAREA RÂULUI BISTRIȚA  
ÎN MUNICIPIUL BISTRIȚA  
JUDEȚUL BISTRIȚA – NĂSĂUD  
Fig. 2.



#### PRINCIPALELE VOLUMA DE LUCRĂRI:

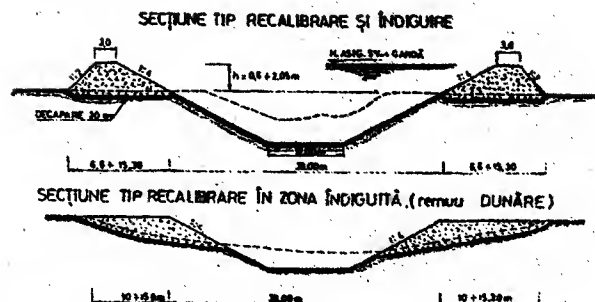
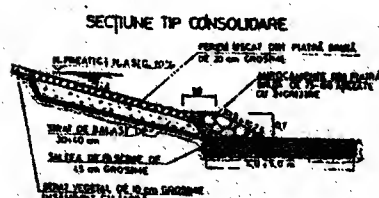
– umpluturi	85.700 mc
– beton simplu și armat	700 mc
– ziduri de sprijin	18.800 mc
– piatră brută	34.500 mc



#### PRINCIPALELE CARACTERISTICI:

- regularizarea râului Bistrița pe o lungime de 5,9 km;
- în sectorul central: apărări de mal cu ziduri de sprijin din zidărie de piatră brută;
- în sectorul amonte și aval: apărări de mal cu pereu din piatră brută;
- praguri de fund îngropate, pentru stabilizarea locală a albiei;
- diguri de pământ în sectoarele amonte și aval  $I = 3,6$  km;
- apărarea municipiului Bistrița împotriva inundațiilor la cl. II de importanță.

A map of Romania showing the Danube River flowing through it. The river enters from the north and exits at the south. Several locations are labeled along the river and its tributaries: Buzău, Iași, Mureș, Lăzăr, Prahova, Argeș, Dâmbovița, Giurgiu, Braila, Tulcea, and Constanța. A compass rose indicates North is towards the top right.



- săpături 1.458.000 mc;
- lungime consolidare 18.370 m;
- suprafață persu 112.000 m<sup>2</sup>;
- volum piatră brută prism 15.000 mc.

- regularizare albie 30 km; diguri 24,8 km;
- apărare împotriva inundațiilor a 5865 ha, 5 localități aval cpm. Însurăței, 10 km drumuri județene și comunale, asigurarea debuşării colectorului principal pentru amenajarea hidroameliorativă complexă a 113.200 ha.

-introducerea hidromecanizării la executarea lucrărilor de regularizare şi îndiguire acolo unde sunt condiţii tehnico-economice corespunzătoare, în vederea reducerii consumului de carburanţi etc.

### 1.2.1. CARACTERISTICILE LUCRĂRIILOR DE AMENAJARE A ALBIILOR CURSURILOR DE APĂ

Prin amenajarea albiilor râurilor se urmărește realizarea uneia sau mai multor obiective: regularizarea debitelor de apă minime și maxime; regularizarea debitelor solide-tărâte sau în suspensie; realizarea unui curs de apă hidraulic stabil; înfrumusețarea zonei riverane cursului de apă.

Fiecare curs de apă sau chiar sector al aceluiași râu trebuie amenajat potrivit unei soluții proprii, în concordanță cu prezența și intensitatea factorilor care determină regimul său caracteristic de curgere.

Albia cursurilor de apă reprezintă un tot unitar care asigură transmiterea tuturor debitelor de apă și de sedimente (debit solid), în regimuri specifice de curgere (debit mare, medii, mici). cele două părți ale albiei (albie minoră și albie majoră), fiind interdependente.

Din acest punct de vedere amenajarea albiei minore sau numai a celei majore (îndiguiri), fără o analiză în complex a condițiilor de curgere poate conduce la rezultate nesatisfăcătoare. Aplicarea în mod mecanic a aceluiași soluții, fără a ține seama de particularitățile cursului de apă respectiv, conduce la rezultate eronate.

De aceea, pentru amenajarea albiilor râurilor trebuie avute în vedere soluții individualizate de la caz la caz, respectându-se principiile generale de amenajare care derivă din necesitatea realizării unor lucrări economice, încadrate în tendința generală de dezvoltare și de mentinere a unei alpii stabile.

### 1.2.2. SCOPUL LUCRĂRILOR DE AMENAJARE A ALBIILOR

De la caz la caz, prin amenajarea albiilor cursurilor de apă se urmărește:

-realizarea unui regim normal de curgere sau la anumiți parametri necesari, în funcție de resursele de apă ale bazinului de recepție aferent sectorului amenajat, atât pentru debitele de apă cât și pentru cele de sedimente.



- apărarea teritoriului riveran împotriva inundațiilor, eroziunilor, colmatărilor;
- obținerea de noi terenuri din lunca inundabilă, pentru diverse folosințe;
- crearea condițiilor pentru asanarea unor terenuri situate fie în lunca inundabilă, fie chiar pe câmpia înaltă învecinată, precum și înfrumusețarea zonei străbătută de cursul de apă

### 1.3 CRITERII ȘI PRINCIPII GENERALE DE PROIECTARE

#### 1.3.1. CRITERII GENERALE DE PROIECTARE PENTRU AMENAJAREA ALBIILOR

Toate lucrările de amenajare a albiilor urmăresc în principal fie stabilizarea albiei pentru menținerea situației existente, fie corectarea acesteia, restrângându-se ( încorsetându-se ) secțiunea de curgere în vederea recuperării unei suprafețe cât mai mari de teren căreia să i se poată da diverse folosințe. Trebuie însă avut în vedere că această restrângere este însă limitată, fiecare curs de apă având nevoie de un spațiu bine determinat ( "spațiu vital minim " ) care nu trebuie afectat decât în cazuri bine justificate. În caz contrar se modifică echilibrul dinamic existent, albia devine instabilă, fiind necesare lucrări de amploare, costisitoare pentru stabilizarea traseului și secțiunii de curgere. Cazul cel mai elocvent este cel al încorsetării puternice a albiei datorită realizării unor diguri apropiate de mal sau al rectificărilor brutale, cu distrugerăa consolidării naturale ale malurilor, albia devenind instabilă, cu eroziuni puternice greu de stăpânit chiar în cazul realizării unor apărări de mal.

În general, la proiectarea lucrărilor de amenajare a albiei cursurilor de apă trebuie avute în vedere cele două părți ale albiei (atât cea minoră cât și cea majoră), care împreună asigură curgerea debitelor lichide și solide. Aceasta, ar permite să înțelegem că lucrările din albia minoră modifică regimul de curgere din albia majoră și invers.

Spre exemplu, dacă pe malurile unui curs de apă urmează să se amplaseze unele obiective economice care datorită spațiului necesar, condiționează realizarea digurilor de apărare în imediata vecinătate a malurilor, soluția respectivă va conduce implicit, datorită încorsetării albiei, la supraînălțări mari ale nivelurilor și la creșterea apreciabilă a vitezelor de curgere în albia minoră. Ca urmare, lucrările de îndiguire din albia majoră conduc la necesitatea realizării de lucrări de regularizare suplimentare în albia minoră, pentru a se asigura stabilitatea acesteia.

În acest caz, problema este mult mai complexă, deoarece ansamblul de lucrări ce trebuie realizate poate necesita un efort apreciabil de investiție care să nu fie justificat. Apare deci necesitatea, în astfel de situații, de a se face o analiză tehnico-economică a mai multor variante, cu diferite distanțe între diguri (sau între dig și mal), pentru a se putea adopta varianta cea mai eficientă, cu lucrări minime și investiții raționale.

Regularizarea completă și complexă a unei albie cuprinde astfel lucrări atât în albia minoră cât și în albia majoră. Acest mod de rezolvare este însă în general costisitor și de cele mai multe ori nici nu este necesar. De regulă, în practică este suficient să se amenajeze albia numai parțial: lucrări în albia minoră pe ambele maluri sau numai pe un mal, sau diguri de asemenea pe ambele maluri sau pe un mal, ori combinații de lucrări în albia minoră și majoră.

Important, este faptul că, la orice proiect de amenajare trebuie să se analizeze, cel puțin la nivel general (schemă hidrotehnică) regularizarea complexă și completă a întregului sector de râu interesat, prevăzându-se și realizându-se însă numai lucrările strict necesare. Se vor putea cunoaște astfel efectul lucrărilor propuse, riscurile ce apar

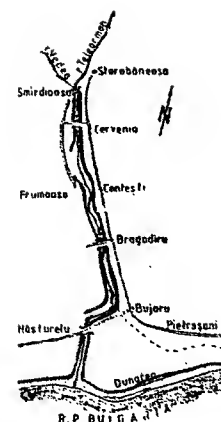
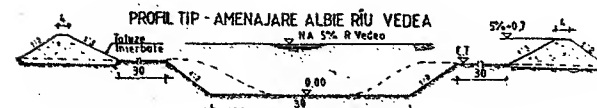
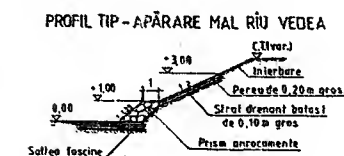
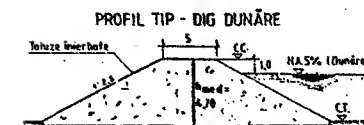


Fig. 4.  
AMENAJAREA RĂULUI VEDEA PE  
SECTORUL TELEORMAN – DUNĂRE  
ȘI ÎNDIGUIREA DUNĂRII ÎN ZONA DE  
VĂRSARE A RĂULUI VEDEA



#### PRINCIPALELE VOLUME DE LUCRĂRI:

- terasamente	3.280.000 mc;
- piatră brută	28.600 t.

#### PRINCIPALELE CARACTERISTICI:

- regularizarea și calibrarea albiei r. Vedea pe o lungime de 32 km de la confluența cu p. Teleorman până la confluența cu Dunărea. Zona de vărsare a r. Vedea este o albie nouă pe un traseu nou în lungime de 8,3 km.
- diguri de apărare împotriva inundațiilor în lungime de 62 km din care 13 km la Dunăre și 49 km pe r. Vedea.
- apărarea împotriva inundațiilor a unei suprafețe agricole amenajate cu lucrări de îmbunătățiri funciare de 6780 ha.

prin nerealizarea integrală a amenajării și, ceea ce este deosebit de important, modul de încadrare al lucrărilor propuse în ansamblul de lucrări complexe.

Sintetizând principalele criterii ce trebuie avute în vedere la lucrările de amenajare a albiilor se pot reține următoarele:

–respectarea pe cât posibil a tendinței naturale de evoluție a albiei râului, realizându-se o albie stabilă, atât ca traseu și pantă, cât și ca dimensiuni ale secțiunii de curgere;

–încadrarea lucrărilor de regularizare în ansamblul amenajărilor prevăzute pe râul respectiv, inclusiv cele de atenuare a debitelor;

–evitarea unor rectificări abuzive care conduc la distrugerea echilibrului dinamic;

–menținerea pe cât posibil a direcției naturale de curgere și a capacității de transport la ape mari, evitând introducerea unor rezistențe suplimentare sau a încorsetărilor accentuate;

–prevederea cu precădere a unor soluții elastice, adaptabile la afluieri sau modificări morfologice ce se pot produce în albie;

–realizarea, ori de câte ori este posibil, în etape a lucrărilor de regularizare, urmărindu-se evoluția în timp și în spațiu a fenomenelor morfologice.

### 1.3.2. PRINCIPII GENERALE DE PROIECTARE A ALBIEI REGULARIZATE

De regulă dimensionarea albiei regularizate nu se face pentru cele mai mari viituri probabile, ci pentru un debit maxim de calcul mai redus care asigură un anumit grad de apărare împotriva efectelor dăunătoare ale apelor mari, determinat în funcție de importanța economico-socială a obiectivelor apărate, potrivit prevederilor STAS 4068/82 sau la un debit maxim rezultat pe baza calculului tehnico-economic.

Prin proiectarea lucrărilor de regularizare trebuie să fie asigurate funcțiile de tranzitare prin albie a debitelor de apă și de sedimente astfel:

–Albia minoră (principală) tranzitează debitele minime din perioada secetoasă, debitele variabile până la debitul capabil al albiei minore (cel puțin debitul de formare al albiei) precum și debitele obligate (comandate prin regimul amenajat) respectiv debitul de servitute, debitul minim de albie, debitul de turbinare, etc.;

–Albia majoră amenajată (la nivelul digurilor) tranzitează diferența de debit dintre debitele maxime ale viiturilor de calcul și debitul albiei minore pline;

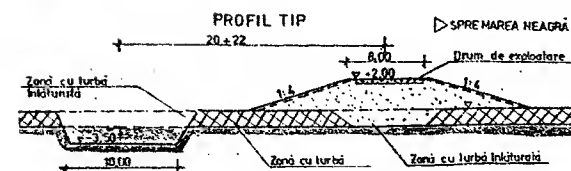
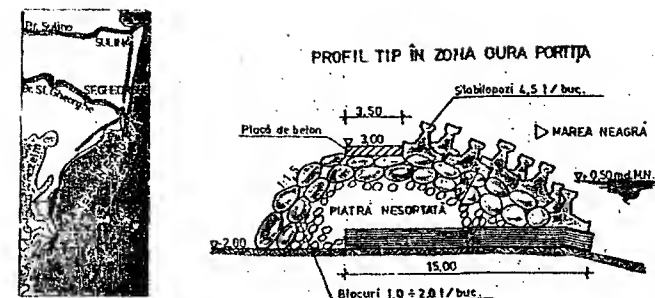
–Albia majoră de calamitate, tranzitează viiturile excepționale sau unde de avani, depășind nivelul lucrărilor de regularizare.

Albia minoră poate fi concepută după două principii hidromorfologice și anume, ca:

–albie stabilă, care își menține relativ constante în timp suprafața profilului transversal, cota fundului în profilul longitudinal incluzând talvegul și traseul în plan orizontal și care asigură tranzitarea debitelor de apă și de sedimente fără depuneri sau eroziuni;

–conturul albiei este realizat în totalitate sau în mare parte în terenul natural, putând avea pe unele zone lucrări de consolidare sau de dirijare și care în timp nu necesită lucrări de întreținere sau acestea sunt minime, debitele mari sau mici scurgându-se fără depuneri sau eroziuni;

–albie cu profil obligat, de regulă o albie instabilă dimensionată să tranziteze un anumit debit de apă cu anumiți parametri: conturul este realizat similar albiei stabile sau este puternic consolidat ajungând până la canale realizate din elemente rigide și care în timp necesită lucrări de întreținere mai ample deoarece prezintă, după caz, colmatări sau eroziuni care trebuie eliminate



#### PRINCIPALELE VOLUME DE LUCRĂRI:

– terasamente	7.545.000 mc;
– din care dragaje	4.815.000 mc;
– saltea de fascine	13.000 mp;
– beton armat și simplu	10.000 mp;
– anrocamente	40.000 mc;
– stabilopozii	2.500 buc.

#### PRINCIPALELE CARACTERISTICI:

- diguri din materiale locale (nisip);
- diguri (epiuri) în mare din anrocamente pe saltea de fascine și stabilopozii.
- consolidarea și apărarea litoralului românesc pe 64 km între Sulina și Gura Portița.

Fig. 5 LUCRĂRI DE CONSOLIDARE ȘI PROTECȚIA LITORALULUI ÎN SECTORUL NORD MIDIA

Lucrările proiectate trebuie să fie coordonate cu celelalte lucrări de regularizare existente sau prevăzute a se executa pe cursul de apă respectiv, pe afluenții acestuia, și în general în întregul bazin de recepție; se vor lua în considerare și unele lucrări cu caracter special ca de exemplu cele pentru extragerea balastului din albie, traversări de conducte, poduri, etc.

Lucrările de regularizare a albiei râurilor trebuie să se încadreze în prevederile planurilor de amenajare complexă a bazinelor hidrografice.

La proiectarea lucrărilor de regularizare trebuie să se țină seama de :

- schităle și planurile de sistematizare teritorială și orășenească;

- proiectele de organizare a teritoriului agricol;

- alte planuri de dezvoltare economică ale zonei;

- de legea apelor și legea privind asigurarea durabilității, siguranței în exploatare, funcționalității și calității construcțiilor.

Proiectarea lucrărilor de regularizare a albiei râurilor (albie minoră și majoră în complex) trebuie să se analizeze în mai multe variante. Alegerea soluției se stabilește pe criterii tehnico-economice, ținându-se seama în mod complex de :

- gradul de satisfacere a cerințelor temei de proiectare;

- efectele lucrărilor de regularizare asupra altor obiective existente sau prevăzute a se realiza pe râu, precum și influența acestora asupra lucrărilor de regularizare proiectate;

- costul, consumul de energie și combustibil, consumul de materii și cheltuielile de întreținere ale lucrărilor de regularizare;

- condițiile și perioada de timp disponibilă pentru executarea lucrărilor.

Proiectarea lucrărilor de regularizare trebuie să se extindă de la sectorul cursului de apă delimitat prin temă de proiectare (sector principal al proiectului) la sectoarele adiacente ale cursului de apă, spre amonte și spre aval, precum și pe afluenți (sectoare secundare ale proiectului).

Lungimea sectoarelor secundare se va stabili în funcție de influențele reciproce între sectorul principal și sectoarele secundare.

Dacă din diferite cauze lucrările pe sectoarele secundare nu pot fi executate în paralel cu cele de pe sectorul principal, proiectarea lucrărilor pe sectorul principal se va face ținând seama de implicațiile neexecutării lucrărilor de pe sectoarele secundare și de perspectiva mai apropiată sau mai îndepărtată a executării acestora.

Extrimitățile amonte și aval ale lucrărilor de regularizare și dacă este cazul – și extremitățile de pe afluenți, vor fi racordate cu extremitățile lucrărilor de regularizare adiacente.

În lipsa unor lucrări de regularizare pe sectoarele adiacente, extremitățile sectorului regularizat trebuie să fie amplasate în zone cât mai stabile și să fie prevăzute cu construcții de capăt care să le asigure împotriva afluenți și ocolinilor, de către curentul de apă al râului.

La proiectarea lucrărilor de regularizare se va avea în vedere încadrarea acestora în mediul riveran, favorizându-se rezolvări care îmbogățesc și înfrumusețază peisajul cu deosebire la traversarea localităților, în dreptul platformelor industriale, în lungul căilor de comunicație (drumuri și căi ferate), precum și în zonele turistice, astfel încât impactul cu mediul înconjurător să conducă la efecte benefice.

## 1.4. PAGUBE ȘI RISC ACCEPTAT

1.4.1. Noțiunea de *risc acceptat* implică un compromis între *lucrările ce reprezintă o singuranță totală și lucrările economice*. În fapt nu există lucrări de construcție care să prezinte o siguranță totală în funcționare. Realizarea unei astfel de lucrări este în mod

cert neeconomică. Sarcina proiectantului ca și a factorilor de decizie, este de a stabili limita admisibilă a riscului deci, a determina *riscul calculat* care trebuie acceptat în momentul aprobării și realizării lucrării. În domeniul construcțiilor hidrotehnice, riscul ce poate fi acceptat este foarte variabil, fiind în funcție de o mulțime de factori, diferind de la caz la caz, de la gen de lucrare la gen de lucrare, etc.

Astfel, de exemplu, în cazul unui baraj și al unui dig de epărare, siguranța construcției nu poate fi aceeași. Ruperea unui baraj poate avea efecte catastrofale pentru zona din aval, datorită valului de apă ce poate îneca și distruge tot ce întâlnește în calea lui. Ruperea unui dig nu are același efect: propagarea inundației prin breșa creată este mai lentă, coloana de apă mai redusă, dispunându-se de regulă de timpul necesar pentru evacuarea oamenilor, animalelor și a altor bunuri.

Dar, chiar în cazul unei îndigui, riscul ce poate fi acceptat nu este același în toate cazurile. Oportunitatea realizării unor apărări de mal, de exemplu, este în strânsă legătură – printre alți factori de condiționare – și cu distanța de amplasare a digului față de cursul de apă. Cu cât această distanță este mai mică cu atât riscul ca lucrarea să nu reziste, fără consolidarea malului, este mai mare. Dacă în timpul unei viituri, când zona dig-mal este sub apă, se produc eroziuni de mal pe adâncimea de 5–10 m, digul poate să nu fie pus în pericol, când este amplasat la o distanță mai mare. După trecerea viiturii, zonele de degradare a malurilor sunt puse în evidență și pot fi luate măsuri de refacerea în cadrul acțiunilor de întreținere și exploatare. Dacă însă digul este amplasat în imediata vecinătate a malului, orice erodare a acestuia poate produce prăbușirea digului, fără ca fenomenul să poată fi prevenit din timp, deoarece întreaga zonă este sub apă.

De altfel toate noțiunile de calcul sunt elaborate în ipoteze admisiive unui risc. Astfel STAS-urile 4068/1–82, 4068/2–82 și 4273–83 care stabilesc debitele și clasa de importanță a lucrărilor, încadrează lucrările în diferite clase ținând seama tocmai de riscul ce poate fi acceptat (vezi anexa 1)

Orice lucrare realizată la clasa IV, de exemplu, trebuie să prezinte siguranța necesară dar numai pentru această clasă, existând riscul ca ea să nu mai reziste în cazul unei viituri ce realizează debite superioare, de clasa III, II sau I.

A nu admite nici un risc înseamnă a realiza lucrarea la clasa I, investiția fiind însă cert neeconomică (teoretic nici în această situație lucrarea nu prezintă o siguranță absolută, fiind vulnerabilă în cazul unei alte probabilități de producere a fenomenului considerat).

Din aceleași motive ultimele reglementări ICCPOC precizează că §2.4 de la STAS 4068/2–82 referitor la debitul maxim de verificare ce trebuie luat în considerare la verificarea construcției studiate, nu intervine la stabilirea volumelor și dimensiunilor lucrărilor, cu excepția barajelor. De asemenea, cu excepția barajelor la toate celelalte lucrări hidrotehnice, deci și la cele de regularizare, nu se ia în considerare sporul de siguranță la calculul debitelor și volumelor maxime de apă, admitându-se deci un risc sporit.

## ANEXA 1

CATEGORII DE LUCRARI, CLASE DE IMPORTANTA SI  
ASIGURARI DE CALCUL (STAS 4068/1,2/1982 și 4273/83)

## A. Categorii de diguri:

Categoria îndiguirii	Suprafața apărată de inundații
2	20.000
3	20.000 – 5.000
4	5.000

## B. Clase de importanță

Categoria lucrărilor	Clasa de importanță			
	Lucrări permanente		Lucrări provizorii	
	Principale	Secundare	Principale	Secundare
2	II	III	III	IV
3	III	IV	IV	IV
4	IV	IV	IV	V

## C. Asigurări de calcul în funcție de clasa de importanță

Condiții de exploatare	Clasa de importanță			
	II	III	IV	V
	asigurarea (%)			
Condiții normale (Qc)	1	2	5	10
Condiții excepționale (Qv)	0,1	0,5	1	3

De aceea, inginerul proiectant este obligat să analizeze pentru lucrarea respectivă implicațiile posibile, să accepte conștient un risc calculat, dacă acesta se justifică din punct de vedere economic.

După Cassagrar, de, aprecierea acestui risc, care condiționează dimensionarea lucrării și respectiv efortul financiar ce trebuie realizat, trebuie făcută în raport cu consecințele unui eșec posibil avându-se în vedere:

- pierderi catastrofale în vieți și bunuri materiale,
- pierderi grele în vieți și bunuri materiale,
- pierderi financiare apreciable, dar probabil fără pierderi de vieți umane,
- pierderi financiare medii, fără pierderi de vieți.

1.4.2. Noțiunea de risc, conduce implicit, îndeosebi pentru lucrările de amenajare a albiilor, la noțiunea de *pagubă*. În fapt, lucrările de regularizare se realizează pentru prevenirea sau înlăturarea unor pagube ce se pot produce. Justificarea economică a acestor lucrări constă tocmai în evaluarea acestor pagube posibile.

Din acest punct de vedere se disting:

a. *Pagube reale*, care se produc efectiv, ca urmare a distrugerii unor bunuri, perturbarea unor activități. Acestea pot fi de două feluri:

– pagube directe, reprezentând distrugerile, deteriorările sau pierderile de bunuri materiale;

– pagube indirecte, reprezentând pierderile datorate stângerii sau opririi activității unor unități economice.

Astfel, inundația unei căi ferate poate provoca atât pagube directe, prin deteriorarea acesteia, cât și pagube indirecte prin întreruperea circulației și deci întreruperea aprovizionării cu materiale, materii prime, etc., a unor unități economice situate atât în perimetrul inundat cât și în afara lui.

b. *Pagube potențiale*, care reprezintă pagubele ce s-ar produce în viitor, ținând seama de dezvoltarea economică a zonei. Ele pot fi definite drept venitul net ce ar putea fi obținut, dacă dezvoltarea folosințelor existente nu ar fi stângerită de inundații, eroziunea malurilor etc.

De regulă pagubele potențiale sunt mai mari decât cele actuale, întrucât gradul de dotare al teritoriului crește an de an prin extinderea obiectivelor economice și construirea de obiective noi. Stabilirea pagubelor potențiale se face pe o perioadă de cca 20–25 de ani.

Determinarea tuturor acestor pagube care justifică oportunitatea unei investiții este o operație destul de complexă și delicată. Ea presupune o evaluare a bunurilor din perimetrul interesat, precum și evaluarea distrugerilor posibile, ținând seama de intensitatea și natura fenomenului ce poate provoca paguba respectivă.

Astfel, în cazul unei eroziuni de mal, o construcție poate fi distrusă prin prăbușirea terenului. În situația când construcția este inundată, valoarea pagubei nu mai este egală cu valoarea bunului afectat, deoarece construcția suferă numai degradări parțiale.

În general se consideră că, cu cât raportul dintre pagubele calculate și investiția necesară este mai mare, cu atât lucrarea este mai oportună.

Trebuie însă avut în vedere că lucrările de gospodărire a apelor, în general, și cele de amenajare a albiilor, în special, au și un rol social ce nu totdeauna poate fi cuantificat în valori certe, ca de exemplu pierderile de vieți omenești, ce pot fi cauzate de o inundație. Dar, însăși bunurile afectate pot avea importanță diferită în funcție de caracteristicile locale. Astfel, apărarea de inundații a unei suprafețe de cca 500 ha, cu o investiție specifică de cca 300.000 lei/ha este discutabilă din punct de vedere al oportunității lucrării, dacă terenurile se situează într-o zonă de câmpie, unde beneficiarul respectiv dispune și de alte suprafețe cultivabile. În schimb, aceeași investiție specifică poate fi oportună dacă terenul respectiv se situează într-o zonă de dealuri și constituie singura suprafață ce poate fi cultivată de către riverani.

## 1.4.3. CALCULUL PAGUBELOR PRODUSE LA INUNDAȚII

*Zonarea teritoriului* din punctul de vedere al inundațiilor se folosește în special acolo unde nu se prevede îndiguirea terenului respectiv, dar servește curent la calculul pagubelor potențiale.

Asfel, după propunerile americane lunca inundabilă a unui râu se împarte în trei zone, așa cum se vede în figura de mai jos:

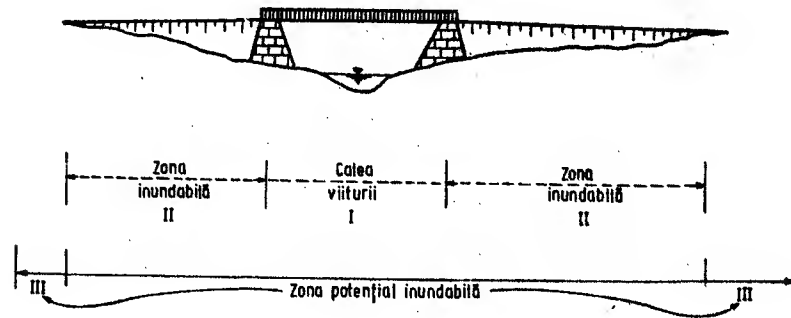


Fig.6

a) *Calea viituri*, este secțiunea de scurgere a viituri, adică albia minoră și o parte din albia majoră strict necesară pentru transportul debitului viituri. Stabilirea lățimii acestei zone este foarte dificilă, astfel că se asimilează cu deschiderea podurilor, sau după definiția americană lățimea căii viituri se stabilește din condiția ca la debitul maxim de calcul, suprainălțarea care ar rezulta prin limitarea secțiunii de scurgere la această lățime să fie de cca 30 cm (1 ft). Totodată menționăm că în calea viituri se interzice amplasarea oricărei construcții, care să stânjenească trecerea ei, fără a se renunța la folosirea zonei, ca pășune, terenuri de parcare auto, parcuri sportive, etc., care vor da pagube minime în caz de inundație.

b) *Zona inundabilă* propriu zisă, cuprinde terenuri ale căror cote sunt sub nivelul apelor cu probabilitatea de depășire de calcul (de obicei 3%; 1%). În această zonă se amplasează unele folosințe, dar cu restricții ca:

- drumurile să aibă cote deasupra cotelor de inundație potențială;
- construcțiile să fie amplasate pe platforma de umplutură neinundabilă;
- se pot cultiva pomi fructiferi.

c) *Zona potențial inundabilă*, cuprinde terenurile ale căror cote sunt sub nivelul apelor viituri potențiale care corespunde viituri de verificare (1%; 0,5%; 0,1%). În această zonă se pot amplasa folosințe fără restricții speciale.

*Calculul pagubelor* se efectuează în felul următor:

Cu ajutorul calculului hidraulic se determină nivelul apei la diverse asigurări, la cote absolute și se reprezintă grafic:

$$z = f_1(p\%)$$

unde:

$z$  = cota apei

$p\%$  = asigurarea nivelelor

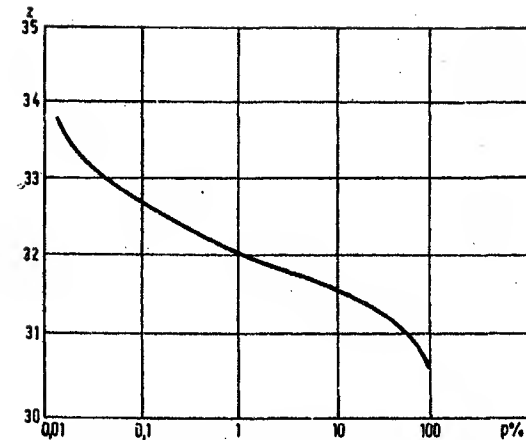


Fig.7. Curba de variație a cotei de inundabilitate în funcție de asigurarea de calcul

Prin măsurători pe planurile de situație și culegerea datelor necesare din teren se determină relația dintre valoarea pagubelor actuale și cota apei, așa cum se vede din graficele de mai jos:

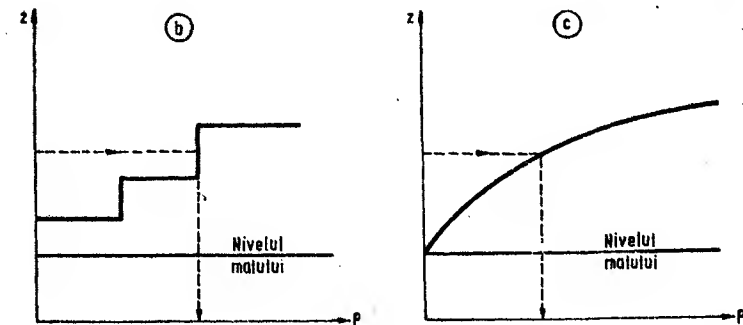


Fig.8. Curbele de variație a pagubelor actuale în funcție de cota de inundabilitate

$$P = f_2(z)$$

unde:

P = valoarea pagubelor actuale

z = cota apei

Pentru obținerea pagubei actuale se trecează limitele de inundabilitate corespunzătoare diferitelor asigurări de celcul pe planurile de situație și se determină toate bunurile și valoarea acestora din zona inundabilă. La această valoare se aplică un procent de uzură (degradare), rezultând în final "paguba actuală".

Pe baza curbelor  $Z = f_1(p\%)$  și  $p = f_2(Z)$  se determină curba  $P = f_3(p\%)$  care stabilește variația pagubelor actuale în funcție de asigurările de calcul.

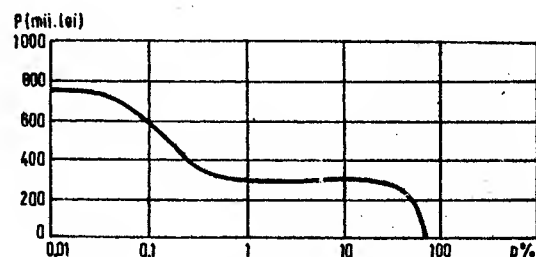


Fig.9. Curba de variație a pagubelor actuale totale în funcție de asigurarea de calcul

Pegubele potențiale se determină în același mod cu deosebirea că valoarea bunurilor inundabile se stabilește pentru un an de perspectivă. Acestea se stabilesc fie utilizând studiile economice de dezvoltare în perspectivă a zonelor interesate, fie cu ajutorul valorii de deviz a obiectivelor existente din care se scade valoarea uzurii fizice a obiectivelor inundabile și care apoi se mărește cu un procent de dezvoltare pe perioade dintre situația actuală și cea de perspectivă. Acest procent actual se aplică diferențiat în funcție de zona de inundabilitate în care se află obiectivele. Astfel, de exemplu pentru "calea viitorii"  $d=0-1\%$ , pentru zona inundabilă  $d=1-2\%$  și pentru zone "potențial inundabilă"  $d=2-3\%$ .

## 2. STUDII NECESARE PENTRU PROIECTARE

Pentru obținerea datelor necesare dimensionării lucrărilor se execută studii de teren, laborator și birou, în scopul cunoașterii cât mai bine a suprafeței ce urmează a fi îndiguită, a suprafeței și a terenului pe care se execută lucrările, a condițiilor locale de realizare a lucrărilor. Studiile sunt necesare strict, pentru:

- analize necesității lucrărilor;
- stabilirea soluțiilor optime de dimensionare, a proceselor tehnologice de execuție și a condițiilor de exploatare;
- calculul efectelor economice ale investițiilor.

Conținutul și volumul studiilor sunt stabilite în raport cu importanța obiectivului de investiții

- studii topografice;
- studii climatice;
- studii hidrologice și hidraulice;
- studii geotehnice și hidrogeologice;
- studii privind dezvoltarea social-economică a zonei;
- studii privind surse locale de materiale de construcții

2.1. Studiile topografice trebuie să prezinte elementele pluviometrice și nivelice necesare pentru precizarea caracteristicilor de relief ale terenului și dimensiunilor obiectivelor ce trebuie apărate, etc. prin întocmirea planurilor de situație și de detaliu, profilelor topografice și topohidrografice, relevee, etc.

Astfel densitatea profilelor de 1-2 km între acestea, în noile condiții ale apariției proprietății private devine nesatisfăcătoare. De asemenea trebuie marcate toți beneficiarii de teren, de stat sau particulari, care în noile condiții prezintă o densitate deosebită, încă de la faza de "studii de fezabilitate" când se obțin avizele de la acești deținători, etc. Nici chiar folosințele nu rămân sigure pe mei mulți ani și nici proprietarii, mii din aceștia putând să-și vândă proprietatea sau o parte a proprietății oricând.

În tot cazul studiile topografice cuprind:

-planuri topografice care se completează cu următoarele elemente: structura proprietății (stat, particular, cooperatist) și structura principalelor folosințe la data ridicării topo (agricol, cu arabil, pășuni, fânețe, silvic, perimetre construite, etc.)

-profile topografice, având același plan de referință ca și planurile de situație și a căror densitate trebuie să depindă de obiectivele întâlnite pe traseu, de gradul de meandre a râului, de desimea zonelor îngustate datorită unor construcții (poduri, SP, subtreversări, etc.) de intersecții cu conducte de petrol, gaze, apă, de numărul de mire hidrometrice, de liniile electrice aeriene sau cabluri electrice subterane, cabluri și linii telefonice, etc.

-relevee la construcțiile existente sau proiectate la data ridicării topo, etc. inclusiv fotografii și fișe tehnice

Trebuie menționat că pe planurile topografice trebuie menționate și toate amenajările existente sau în curs de execuție (irigații, piscicultură, desecări, hidroenergetice, etc.), precum și amplasamentul diverselor borne cadastrale, repere topografice, foraje și puțuri de observație, etc. identificabile prin poziție, dimensiuni cote.

2.2. Studiile climatice trebuie să prezinte elementele necesare determinării înălțimii velurilor, a condițiilor de fundere a digurilor, a consolidării biologice a digurilor, precum și perioadele optime de execuție, etc. folosind datele de la stațiile meteo cele mai apropiate pe un interval de timp de minimum 15 ani. Astfel, observațiile trebuie să cuprindă date în legătură cu:

- regimul vântului, pe direcții cu asigurări de 2% și 4%;
- regimul precipitațiilor atmosferice prin frecvența ploilor;
- intensitatea și durata lor, precum și asigurarea acestora;
- regimul temperaturii aerului cu minime și maxime absolute, date referitoare la zilele de îngheț prin prima și ultima epantă în timp pe durata unui an, etc.

2.3. Studiile hidrologice și hidraulice ce trebuie să prezinte caracteristicile regimului de scurgere al cursului de apă și ale afluenților acestuia, în situație naturală și în situație îndiguită, ținând seama de prevederile STAS 4273-76.

Schemele hidrotehnice pentru gospodărirea apelor se întocmesc pe baza unor studii hidrologice și hidraulice generale ale cursului de apă, ținând seama de unele prevederi ca:

a) prezentarea debitelor și nivelurilor istorice, maxime cunoscute în secțiunile profilurilor topografice ridicate;

b) prezentarea debitelor și nivelurilor maxime la asigurările de calcul și verificare indicate de proiectant;

c) prezentarea debitului și nivelului medii multianuale;

d) prezentarea, în dreptul mirelor hidrometrice, a hidrografelor caracteristice ale viiturilor maxime înregistrate;

e) prezentarea de-a lungul sectorului îndiguit a următoarelor elemente:

— unde de viitură pe tronsoane caracteristice conform temei de proiectare;

— curbele suprafeței libere în regimul actual de scurgere, în regim natural și în regim modificat de scurgere ținând seama de încorsetarea râului datorită îndiguirii;

— rugozitatea albiei minore și majore, pe sectoare caracteristice etc.

f) prezentarea suplimentară a debitelor și nivelurilor maxime pentru asigurările 5%, 20% a debitului de umplere a albiei minore, debitului și nivelului minim, la etaj;

g) considerații privitoare la evoluția morfologică a albiei minore, tendințele de meandrare, de ridicare sau coborâre a fundului albiei și evidențierea parametrilor morfometrici ai sectoarelor stabile de albie;

h) considerații privitoare la regimul de scurgere din perioadele cu fenomene de iarnă;

i) elemente de calcul și considerații privitoare la pante și viteze la debite caracteristice, vitezele critice de antrenare a particulelor din fundul și malurile albiei minore;

j) la propunerea proiectantului se efectuează și studii, încercări și verificări pe modele hidraulice și în laborator, în cazul unor probleme complexe, etc.

2.4. Studiile geotehnice și hidrogeologice trebuie să pună la dispoziție proiectantului, precum și beneficiarului îndiguirii, datele necesare asupra stabilității digului și a fundației acestuia, ținând seama de caracteristicile fizice, mecanice, de rezistență și de permeabilitate a pământurilor, trebuie să furnizeze elementele necesare stabilirii procesului tehnologic de execuție și exploatare a lucrărilor, cercetarea geotehnică respectând prevederile STAS 1242-1/73.

Pentru cercetarea la teren se realizează foraje de prospecțiuni la anumite distanțe și adâncimi în funcție de categoria terenului, de înălțimea viiturului dig, etc. precum și șanțuri deschise cu adâncimi până la 2,5 m pe traseul digurilor și în zona gropilor de împrumut.

Încercările de laborator trebuie să prezinte următoarele elemente: granulozitatea, porozitatea ( $n$ ) și indicele porilor, greutatea volumetrică a pământului ( $\gamma$ ), în stare uscată ( $\gamma_d$ ) și în stare saturată ( $\gamma_s$ ), limitele de plasticitate ( $\omega_p$ ,  $\omega_L$ ), unghiul taluzului natural, unghiul de frecare interioară ( $\phi$ ), coeziunea ( $c$ ), umiditatea optimă de compactare ( $w_{opt}$ ), coeficientul de permeabilitate ( $k$ ), etc.

Pe baza studiilor hidrogeologice se indică adâncimea medie și minimă a nivelului freatic și considerațiile necesare legate de datele hidrogeologice obținute din teren.

2.5. Studiile de dezvoltare social-economică a zonei inclusiv pagubele înregistrate se realizează pentru studiul de fezabilitate, în vederea determinării eficienței economice a lucrărilor propuse. În cadrul acestor studii se prezintă pagubele înregistrate până la data studiului datorate inundațiilor și legătura acestora de mărirea viiturilor ce au avut loc, precum și posibilitățile de dezvoltare socio-economică regională, iar legat de aceasta pagubele potențiale ce se vor putea produce datorită

nerealizării îndiguirii. Totodată se prezintă obiectivele social-economice apărute și importanța acestora în afară de valoarea lor bănească, etc.

2.6. Studiile asupra surselor locale de materiale de construcții se execută asupra acelor materiale care sunt necesare la execuția lucrărilor, trebuind să se stabilească volumul rezervelor utilizabile, amplasamentul și caracteristicile acestora, precum și tehnologia de exploatare a depozitelor, evaluându-se și costul Aducerii lor pe șantier.

Fiecare din situațiile menționate mai sus prezintă în final concluziile și recomandările privind întocmirea studiilor ca urmare a măsurătorilor directe sau și încercărilor de laborator efectuate legat de temele primite de la proiectant odată cu comenzile, de care proiectantul trebuie să țină seama la abordarea proiectului.

Totodată, înainte de folosirea acestor studii documentațiile primite se verifică de către proiectanți pentru a nu lăsa loc la folosirea unor date greșite în calcule, eventualele neconcordanțe sau chiar greșeli, fiind remediate de cei ce întocmesc studiile la solicitarea proiectantului, un rol deosebit în această acțiune având-o verificatorul de proiect împreună cu șeful de proiect.

### 3. CALCULE HIDRAULICE PENTRU DIMENSIONAREA LUCRARILOR DE REGULARIZARE

#### 3.1. DEBITELE DE APĂ CARACTERISTICE

Capacitatea de tranzitare a debitelor de apă și de sedimente a cursurilor de apă amenajate se determină în funcție de debitele caracteristice a căror curgere trebuie asigurată și anume:

a) Debitele maxime ale viiturilor, corespunzătoare claselor de importanță ale obiectivelor ce necesită realizarea lucrărilor de regularizare (STAS 5068/2-82 și 4273-83), respectiv cele două valori caracteristice.

— debitul de calcul (de dimensionare) reprezentând debitul maxim teoretic la care se dimensionează lucrările, având asigurarea corespunzătoare gradului de apărare normal al obiectivelor social-economice protejate, în condiții normale de exploatare;

— debitul de verificare, reprezentând debitul maxim teoretic la care se verifică lucrările, pentru aceeași asigurare, în condiții excepționale de exploatare.

Asupra acestor două valori caracteristice se fac următoarele precizări:

— Debitul de calcul este cel împotriva căruia trebuie protejate obiectivele economice. În funcție de valoarea acestuia se determină suprafața inundabilă ce trebuie apărută, precum și pagubele ce trebuie evitate,

— Debitul de verificare determină siguranța construcției de apărare, pentru ca aceasta să reziste (să nu fie deversată) la debitul de calcul.

Cu alte cuvinte, diferența dintre aceste două debite, respectiv diferența de nivel corespunzătoare acestor debite reprezintă garda de siguranță a construcției.

Pentru lucrările de importanță redusă, dimensionarea lucrării de apărare se face în funcție de nivelul dat, de debitul maxim de calcul la care se adaugă o înălțime (spațiu) de rezervă

Interpretând corect aceste două noțiuni rezultă următoarele concluzii:

Dacă lucrarea de protecție împotriva apelor mari se realizează în rambleu (dig de apărare), înălțimea totală a acesteia se determină de regulă în funcție de nivelul dat de debitul de verificare. Digul apără obiectivele economice pentru debitul, respectiv nivelul maxim de calcul, diferența de înălțime reprezentând siguranța construcției.



Dacă lucrarea de protecție împotriva apelor mari se realizează în debleu (albia minoră se calibrează astfel încât să poată tranzita la nivelul malurilor debitul de calcul) nu mai este necesară o siguranță suplimentară pentru construcție deci nu mai este nevoie de dimensionarea acesteia pentru debitul de verificare. Obiectivele economice sunt apărute la debitul de calcul, care nu depășește nivelul melurilor, iar la debite mai mari, prin deversare pe terenul înconjurător construcție de apărare (canalul de regularizare) nu este deteriorat (fig.10). De asemenea, protecția de mel se dimensionează la debitul de calcul (fără a se verifica la debitul de verificare).

Așa cum am arătat anterior, debitul de formare este apreciat ca debitul care umple albia minoră sau debitul maxim cu probabilitatea de depășire (asigurare) 5%...20%.

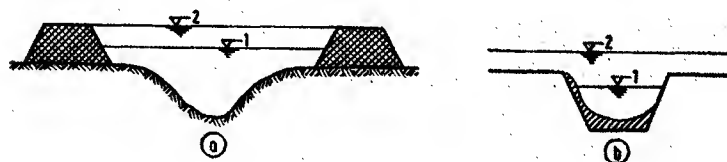


Fig. 10. Niveluri de calcul și verificare

- a) Lucrări în rambleu      1. Nivelul maxim de calcul  
b) Lucrări în debleu      2. Nivelul maxim de verificare

c). Debitul mediu multianual (modul), reprezintă media pe mai mulți ani (de regulă minimum 25) a debitelor medii anuale.

d). Debitela obligate (comandate în regim amenajat) reprezintă debitele a căror scurgere trebuie asigurată: debitul de servitute pentru satisfacerea diverselor folosințe, debitul minim de albie (curgerea salubă, fond acvetic etc.), debitele evacuate de la diverse folosințe, cel turbinat etc.

e). Debitul mediu care asigură transportul de sedimente, atât prin târare cât și în suspensie.

### 3.2. CALCULUL HIDRAULIC AL CURBEI SUPRAFETEI LIBERE A APEI

Pe baza ridicărilor topografice, precum și a celorlalte studii de teren, se analizează în primul rând natura scurgerii în albie, pe sectorul interesat, determinându-se nivelurile de apă, vitezele apei, etc. la debitele caracteristice.

Calculul hidraulic pentru determinarea curbei suprafeței libere a apei se efectuează în diverse ipoteze ale curgerii apei:

a) Mișcarea permanentă, uniformă. În general, mișcarea apei în canale, și cu atât mai mult la cursurile de apă nu este permanentă și cu atât mai mult uniformă. Totuși, în unele cazuri ea poate fi considerată ca atare, atunci când albia are o formă prismatică, fără variații mari ale secțiunii, panta este unică (uniformă), lungimea sectorului de râu e redusă, nu intervin afluenți cu aport de debit. Calculul în mișcare permanent uniformă poate fi luat în considerare în condițiile de mai sus, pentru

scurgerea în albia minoră la stabilirea lucrărilor de regularizare (de exemplu tăierea unui cot)

În această situație viteza medie a apei este constantă în secțiunea transversală și depinde de raza hidraulică, panta de rugozitate a albiei, conform relației Chezy.

$$V = C \sqrt{RI} \quad (\text{m/s})$$

Capacitatea de tranzitare a albiei se determină cu relația:

$$Q = \omega \cdot V \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

Pentru calculul coeficientului Chezy (C) se pot utiliza diferite formule din literatura de specialitate

În general se recomandă relația lui N.N. Pavlovski:  $C = \frac{1}{n} R^y$  sau cazul particular al acestei relații obținută de Manning

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6}$$

La calculele respective, o atenție deosebită trebuie dată stabilirii corecte a coeficientului de rugozitate (n), valoarea sa influențând în mare măsură poziția (cota) suprafeței libere. Astfel considerând  $y = 0,2$  în relația Pavlovski, la o apreciere greșită cu 20% a valorii coeficientului de rugozitate, eroarea pentru nivelul determinat este de 40 cm la o rază hidraulică de 3,40 m și de 80 cm la o rază hidraulică de 6,00 m.

De aceea, ori de câte ori este posibil, coeficientul de rugozitate trebuie determinat pe baza măsurărilor de teren, efectuându-se o "tarare" a modelului de calcul. Cunoscând elementele morfometrice ale albiei (secțiune, pantă), debitul scurs și nivelul înregistrat la acest debit se poate determina rugozitatea efectivă a albiei.

Valoarea coeficientului de rugozitate, ținând seama de observațiile de la teren se poate stabili pe baza tabelului nr.1

Tabelul 1

#### VALORILE MEDII ALE COEFICIENȚILOR DE RUGOZITATE (n) PENTRU ALBII

nr. crt.	Caracteristica albiei	n
1	Albii naturale, în condiții foarte bune (curate), rectilinii, albii curate de pământ cu curgere liberă	0,025
2	Albii ale cursurilor permanente de câmpie, în special ale râurilor mari și mijlocii, în condiții normale ale patului și de scurgere	0,033
3	- Albii, relativ curate, ale râurilor de șes, aflate în condiții normale, sinuoase, cu oarecare neregularități în scurgerea apei sau râuri rectilinii, având relieful neregulat; - Albii regulate, din pietriș, aflate în bune condiții, în partea lor inferioară - Albii de pământ, ale râurilor periodice (albii uscate) în bune condiții de scurgere	0,040



4	-Albii ale râurilor mari și mijlocii, puternic infundate, sinuoase, parțial acoperite cu vegetație, albii pietroase cu scurgere neregulată -Albii majore ale râurilor mari și mijlocii, în stare bună, acoperite cu vegetație (iarbă, tufişuri)	0,050
5	-Albii sinuoase ale cursurilor de apă periodice, puternic infundate. Albii acoperite cu vegetație abundentă -Albii majore, în stare rea, acoperite cu vegetație abundentă (tufişuri, arbori) și având mai multe brațe -Porțiunile cu praguri ale râurilor de câmpie -Albii cu bolovani ale râurilor de munte, având suprafața liberă a apei neregulată	0,067
6	-Râuri și elbii majore, ebudent acoperite cu vegetație, cu scurgere lentă și cu gropi mari și adânci. Albii de munte, cu scurgere rapidă, aerație și oglinda apei neregulată (stropi de apă aruncați în sus).	0,080
7	-Albii majore, abundant acoperite cu vegetație cu scurgere neregulată, golfuri, etc. -Albii de munte, cu cascade, cu patul sinuos alcătuit din bolovani mari, cascade, aerație puternică încât apa își pierde transparența și capătă culoare albă din cauza spumei; zgomotul apei domină toate celelalte sunete împiedicând convorbirile	0,100
8	-Râuri de tip mlăștinos (vegetație, albii din coajă de pământ crăpat, în multe locuri apa aproape stătătoare etc.) -Albii majore păduroase cu spații mari, fără scurgere adâncituri locale, lacuri etc.)	0,133
9	-Torenți cu albie mobilă, formată din noroi, pietre, etc. -Albii majore fără comunicație, în întregime împădunite. Malurile bazinelor naturale	0,200
nr. crt	TIPUL PERETILOR	n
1	Tencuială din ciment curat	0,010
2	Tencuială din ciment cu 1/3 nisip	0,011
3	Zidărie din piatră cioplită. Zidărie din cărămidă foarte bună	0,013
4	Zidărie din cărămidă în condiții mijlocii, canale din beton în condiții mijlocii	
5	Zidărie brută din cărămidă, zidărie din piatră necioplită cu suprafața bine executată și cu stratul de fundație din piatră, bine așezat	0,015
6	Zidărie obișnuită din moloane; în stare satisfăcătoare; zidărie veche și stricăță, din cărămidă, betonare neîngrijită	0,017
7	Canale acoperite cu un strat gros și stabil de mâl; canale în loess compact și în pietriș compact mărunț, acoperite cu o peliculă continuă de nămol (în plus, găsindu-se în condiții excepțional de bune)	
8	Zidărie grosieră din piatră, zidărie uscată din pietre mari, pavaj din bolovani. Canale în stâncă bine executate. Canale în loess, pietriș, compact, pământ compact, acoperite cu o peliculă din nămol (în stare normală)	0,020

9	Pavaj din piatră mare, necioplită, cu colțuri pronunțate, canale în stâncă cu suprafață mediocră prelucrată, canale în argilă compactă. Canale în loess, pietriș, pământ, acoperite cu o peliculă discontinuă de nămol Canale mari în pământ, aflate în condiții bune de întreținere și reparație	0,0225
10	Canale mari în pământ, în condiții mijlocii de întreținere și reparații și canale mici în condiții bune. Râuri și pâraie în condiții favorabile (curgere liberă, curate și fără vegetație importantă).	0,025
11	Canale în pământ: mari, în condiții proaste de întreținere; mici, în condiții medii	0,0275
12	Canale și râuri în condiții relativ rele (de exemplu, parțial acoperite cu ierburi acvatice și bolovani sau cu iarbă mare având malurile prăbușite etc.)	0,030
13	Canale și râuri în condiții de întreținere foarte rele și cu profil neregulat, infundate considerabil cu pietre, plante acvatice etc.	0,035
14	Idem, în condiții excepționale de rele, bucăți de stâncă și pietre mari în albie, rădăcini dese, surpări și denivelări, trestie	0,040

Se atrage atenția că la dimensionarea lucrărilor de amenajare a albiilor, se vor avea în vedere și condițiile de funcționare și exploatare ale acestora. Astfel, dacă se prevede protejarea (pereerea) secțiunii de scurgere a elbiei minore, la alegerea coeficientului de rugozitate, se va avea în vedere acest lucru, la fel, dacă se preconizează că în zona dig-mal se realizează o perdea de protecție din erbori sau arbuști.

b) Mișcare permanentă, gradual variată. Albiile cursurilor de apă prezintă de regulă caracteristici variabile de la secțiune la secțiune, în ceea ce privește forma acesteia, rugozitatea, panta de curgere.

Formele secțiunii, traseul în plan și panta longitudinală sunt modelate de însuși curentul apei prin acțiunea de eroziune și depunere, existând deci în permanență o ecuație reciprocă între curent și albie.

În cazul mișcării permanente gradual variate a apei în albiile râurilor, ecuația continuității este de forma:

$$Q = \text{const.}$$

iar ecuația dinamicii devine:

$$\frac{dz}{dx} + \frac{d}{dx} \left( \frac{\alpha v^2}{2g} \right) + \frac{Q^2}{K^2} = 0$$

Transcrisă în diferențe finite pe distanța între două secțiuni transversale consecutive 1-1 și 2-2 (fig. 11) ecuația de mai sus are expresia (ecuația de conservare a energiei)

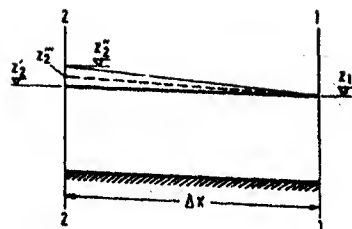


Fig. 11. Schema mișcării gradual variate.

$$z_2 + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} = z_1 + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} + \frac{Q^2}{k_m^2} \Delta x$$

sau:

$$\Delta Z = Z_2 - Z_1 = \frac{\alpha_1 v_1^2 - \alpha_2 v_2^2}{2g} + \frac{Q^2}{k_m^2} \Delta x$$

unde:

$$\frac{1}{k_m^2} = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{k_1^2} + \frac{1}{k_2^2} \right) \text{ sau } k_m = \frac{k_1 + k_2}{2}$$

În care  $k_1$  și  $k_2$  sunt modulii de debit în secțiunile 1-2 și 2-2 iar  $k_m$  este modulul mediu de debit.

În foarte multe cazuri variația termenului cinetic se poate neglija în raport cu termenul  $\frac{Q^2}{k_m^2} \Delta x$ , astfel că ecuația de conservare a energiei ajunge la forma:

$$\Delta Z = z_2 - z_1 = \frac{Q^2}{k_m^2} \Delta x$$

rezultând că panta medie a suprafeței libere a apei pe sectorul  $\Delta x$  este egală cu media aritmetică a pantelor de la capetele sectorului de calcul.

Calculul suprafeței libere a apei cu relația de mai sus se efectuează prin încercări succesive:

- la profilul 1-1 se cunoaște  $z_1$  și se calculează  $\omega_1$  și  $k_1^2$ ;
- se admite o cotă  $z_2 > z_1$  în profilul 2-2 și se calculează  $\omega_2$  și  $k_2$ ;
- cu relația de mai sus se calculează  $z_2$

Dacă  $|z_2 - z_2^*| \leq \epsilon$  unde  $\epsilon$  este toleranța de neînchidere a calculelor, se consideră cota  $z_2 = z_2^*$ . Dacă  $|z_2 - z_2^*| \geq \epsilon$  se admite  $z_2^* = \frac{z_2 + z_2^*}{2}$  și se refac calculele, ș.a.m.d. De obicei  $\epsilon = 1-2\text{cm}$ . Rezultatele calculelor se înscriu într-un tabel în forma de mai jos și se efectuează pentru toată lungimea râului.

Sectorul	$z_1$	$\omega_1$	$k_1$	$z_2$	$\omega_2$	$k_2$	$K_m$	$z_2^*$
1-2								

Secțiunile de calcul se aleg astfel încât pe același sector de calcul variația mărimilor geometrice să fie cât mai redusă.

Modulele de debit  $k_1$  și  $k_2$  se calculează separat pentru albia minoră și separat pentru albia majoră, astfel:

$$k_m = \frac{\omega_m}{n_m} R^{2/3} \text{ și } k_M = \frac{\omega_M}{n_M} R^{2/3} \text{ iar } k = k_m + k_M$$

De foarte multe ori se întâmplă ca albia minoră să fie puternic meandrată, lungimea firului de curent măsurată pe traseul albiei minore să fie mult mai mare decât lungimea firului de curent măsurată pe direcția generală a curgerii prin albia majoră (fig. 12).

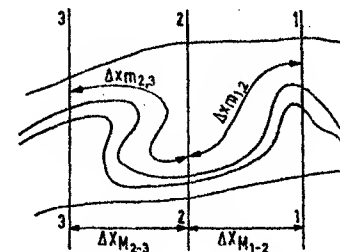


Fig. 12. Albie meandrată.

În aceste cazuri rezistențele hidraulice în albia minoră sunt mai mari decât în albia majoră. În mod aproximativ, pentru calculul modulului de debit se folosește relația

$$k_m + k_M \sqrt{\frac{\Delta x_m}{\Delta x_M}}$$

unde

$\Delta x_m$  este distanța între secțiunile de calcul măsurate pe traseul albiei minore și  $\Delta x_M$  este aceeași distanță măsurată pe traseul albiei majore.

$$k_m = \frac{1}{2} (k_{m1} + k_{m2}) \quad \text{și} \quad k_M = \frac{1}{2} (k_{M1} + k_{M2})$$

Final se folosește relația

$$\Delta z = z_2 - z_1 = \frac{Q^2}{2g} \left( \frac{1}{\omega_1^2} - \frac{1}{\omega_2^2} \right) + \frac{Q^2}{k_m^2} \Delta x$$

unde

$$\omega_1 = \omega_{m1} + \omega_{M1} \quad \text{și} \quad \omega_2 = \omega_{m2} + \omega_{M2}$$

iar

$$\xi = \left( 0.5 - 1 \right) \frac{(\omega_1 - 1)}{(\omega_2 - 1)}$$

Uneori se mai folosește și relația :

$$\Delta z = z_2 - z_1 = \frac{Q^2}{2g} \left( 1 - \xi \right) \left( \frac{1}{\omega_1^2} - \frac{1}{\omega_2^2} \right) + \frac{Q^2}{k_m^2} \Delta x$$

unde  $\xi = 0$  pentru albie convergentă și  $\xi = 0.5$  pentru albie divergentă.

Se precizează că obținerea unor rezultate bune depinde în mare măsură de totalul datelor hidrometrice de care se dispune și îndeosebi de cele referitoare la pantă, rugozitate și formă albiei.

Distanța între secțiunile de calcul poate varia de la câteva sute de metri, până la mai mulți kilometri. Cea mai corectă împărțire, pe tronsoane de calcul (deci numărul secțiunilor transversale de calcul) este cea care ține seama de uniformitatea pantei.

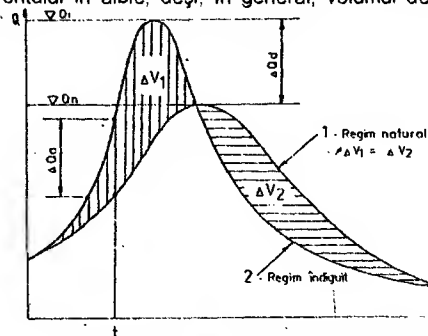
#### Mișcarea nepermanentă, gradual variată.

Atât în regim natural, cât și în regim îndiguit, îndeosebi când se pune problema amenajării unor sectoare mari ale cursului de apă cu aport de afluenți și albie majoră foarte variabilă, trebuie ținut seama că mișcarea apei în albia râului are însă un caracter nepermanent, fiind un proces hidraulic spațial (tridimensional). Deși direcția principală de curgere este cea în lungul cursului de apă, apar curenți transversali importanți, legați în special de schimbul de debite dintre albie minoră și majoră (revărsări și retrageri de ape) și de viteze de curgere mult diferite în albiile majore și minore.

Pentru un sector scurt al cursului de apă, neinfluențat de afluenți, sau obstacole (praguri, poduri etc.), cu diguri continui, prevăzute în imediata vecinătate a malurilor, se pot admite calculele în ipoteza mișcării permanente, gradual variată.

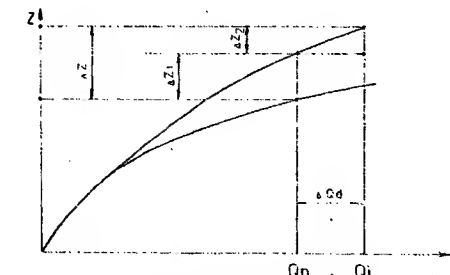
Pentru lungimi mai mari ale cursului de apă la care caracteristicile hidrologice, hidraulice și morfologice diferă apreciabil în lungul parcursului, cu albie majoră (luncă inundabilă) foarte diferită ca lățime, calculele pentru determinarea curbei suprafeței libere a apei în regim natural și îndiguit nu pot fi realizate corect decât în ipoteza unei mișcări nepermanente, gradual variată.

Se cunoaște că îndiguirile pot modifica apreciabil regimul de curgere al apelor mari, pe de o parte reducerii secțiunii de scurgere a apelor prin albia majoră, iar pe de altă parte reducerii efectului natural de atenuare pe care îl au în aceste lunci. Ca urmare, forma medie de viitură se modifică față de cea naturală, debitul maxim crește ca și viteza curentului în albie, deși, în general, volumul de apă al viiturii rămâne același (fig. 13):



a). Hidrograful debitelor în aceeași secțiune

$Q_i$  – debitul maxim în regim îndiguit;  $Q_n$  – debitul maxim în regim natural;  $\Delta Q_d$  – debitul dezatenuat;  $\Delta Q_a$  – debitul acumulat la timpul  $t$  în regim natural pe suprafața îndiguită



b). Cheia limnometrică

1. Regim natural; 2. Regim îndiguit.

Fig. 13. Modificarea regimului de curgere datorită încorsetării albiei prin îndiguire.

Din figura respectivă se constată că debitul maxim în regim îndiguit este superior celui din regim natural, cu diferența  $Q_d$  care reprezintă debitul dezatenuat de îndiguire sau debitul atenuat în regim natural pe suprafața luncii.

Supraînălțarea la nivel  $\Delta Z$ , produsă de îndiguire, în raport cu nivelul din regimul natural, are două componente:

- $\Delta Z_1$ , produsă de încorsetarea secțiunii de scurgere;
- $\Delta Z_2$ , produsă de creșterea debitului maxim cu debitul dezatenuat  $\Delta Q$

Într-o secțiune oarecare, sporul de debit  $\Delta Q$  este dat de îndiguirile din amonte de acea secțiune, iar supraînălțările de nivel  $\Delta Z_1$  sunt date de îndiguirile din aval și din secțiunea respectivă

În regim de mișcare nepermanentă gradual variată, stabilirea curbei suprafeței libere se face pe baza ecuațiilor Saint-Venant.

B.  $\frac{\partial z}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$  ecuația continuității,  $B$  fiind lățimea medie a secțiunii și.

$$\frac{\partial z}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{v \partial v}{\partial x} + \frac{Q^2}{k^2} = 0 \text{ ecuație dinamică}$$

Modul de aplicare al acestor ecuații este prezentat în literatura de specialitate.

În general, calculul este foarte laborios și de regulă se folosesc calculatoarele electronice. În acest scop, în cadrul ICPGA s-au elaborat două programe de calcul: programul MIPE și programul UNDA. Primul, determină curba suprafeței libere a apei prin integrări succesive din aval spre amonte (curba de remui), cel de al doilea, mai complet, ține seama și de atenuarea în albie, forma hidrografului, aportul de debit al afluenților.

Pe baza analizei nivelurilor de apă se pot determina suprafețele inundate în albia majoră la diferite probabilități ale debitelor maxime, iar pe baza valorilor vitezelor medii ale apei se poate aprecia amploarea eroziunilor laterale și de adâncime sau tendința de colmatare a albiei naturale. Pentru aceasta se compară vitezele medii ale apei obținute din calcule cu vitezele medii admisibile pentru diferite terenuri care alcătuiesc patul albiei conform datelor din tabelul nr.2.

Tabelul nr.2

#### VITEZELE MEDII ADMISIBILE DE NEEROZIUNE ALE CURSURILOR DE APĂ

##### A. Pentru pământuri necoezive

nr. crt.	Denumirea pământului	Dimensiunile particulelor de pământ (mm)	Viteza medie admisibilă (m/s)	
			La adâncimea de 1 m	La adâncimea de 3 m și peste
1	Praf sau măr	0,005-0,05	0,15-0,21	0,19-0,26
2	Nisip mărunt mijlociu mare	0,05-0,25	0,21-0,32	0,26-0,40
		0,25-1,00	0,32-0,57	0,40-0,70
		1,00-2,50	0,57-0,65	0,70-0,80
3	Pietriș mic mijlociu mare	2,50-5,00	0,65-0,80	0,85-1,00
		5,00-10,00	0,80-1,00	0,95-1,20
		10,00-15,00	1,00-1,20	1,20-1,40
4	Bolovăniș mic mijlociu mare	15,00-25,00	1,20-1,40	1,40-1,80
		25,00-40,00	1,40-1,80	1,80-2,20
		40,00-75,00	1,80-2,40	2,20-3,00
5	Bolovani de râu mici mijlocii mari	75,00-100,00	2,40-2,80	3,00-3,40
		100,0-150,00	2,80-3,40	3,40-4,20
		150,0-200,00	3,40-3,90	4,20-4,90
6	Bolovani mari	200,0	3,90	4,90

##### B. Pentru pământuri coezive

nr. crt.	Denumirea pământului	Pământ cu conținut de particule în % 0,005-0,065 mm	Pun compact		Viteze medii admisibile în m/s		foarte compacte
			1,2	3 și peste	compacte mijlocie 1,2-0,6	compacte 0,6-0,3	
			1,0	3 și peste	1,0	3 și peste	1,0 și 3 peste
1	Argile	30-50					
2	Argile nisipoase grele	20-30	0,40	0,50	0,85	1,20	1,70
3	Argile nisipoase slabe	10-20	0,40	0,50	0,85	1,20	1,70
4	Pământuri loesso-de după terminarea tasărilor	-	0,32	0,40	0,70	1,00	1,30
							1,70

3.3. OBSERVAȚII: Vitezele admisibile ale curentului pentru adâncimile care nu sunt arătate în tabel, se pot deduce din vitezele admisibile  $V_0$  pentru adâncimea de 1,0 m cu ajutorul formulei:  $V = V_0 \cdot h^{0,2}$  Va m/s în care  $h$  este adâncimea medie a curentului în m

Tabelul 8

Nr. crt.	Denumirea pământurilor constructive ale patului albiei	d <sub>50</sub> mm	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16
1	Nisip fin	0,15	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,3
2	Nisip mărunț	0,50	0,7	0,9	1,0	1,0	1,1	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7
3	Nisip măgăritar și nisip mărunț cu pietriș	1,0	0,9	1,0	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7	1,8	1,9	2,0
4	Nisip mare și nisip măgăritar cu pietriș	2,50	1,1	1,3	1,3	1,6	1,7	1,9	2,0	2,2	2,3	2,5
5	Pietriș cu nisip mare	6,0	1,4	1,6	1,7	1,9	2,0	2,2	2,4	2,6	2,7	-
6	Pietriș de râu mărunț	15,0	1,7	1,9	2,1	2,3	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	-
7	Pietriș de râu mijlociu	25,0	2,0	2,3	2,6	2,7	2,9	3,1	3,4	3,6	-	-
8	Pietriș de râu mare	60,0	2,5	2,8	3,0	3,2	3,3	3,6	3,9	4,1	-	-
9	Bolovaniș mărunț	140,0	3,0	3,4	3,6	3,8	4,0	4,4	4,6	-	-	-
10	Bolovaniș mijlociu	250,0	3,6	4,0	4,2	4,5	4,7	5,0	5,3	-	-	-
11	Bolovaniș mare	450,0	4,2	4,6	4,9	5,1	5,3	5,7	-	-	-	-
12	Bolovaniș foarte mare	750,0	4,9	5,3	5,6	5,9	6,1	6,4	-	-	-	-
13	Argile și argile nisipoase de compactitate slabă $\gamma = 1,0 \text{ t/m}^3$		0,89	1,0	1,0	1,2	1,3	1,5	1,6	1,8	1,9	2,0
14	Argile și argile nisipoase de compactitate slabă $\gamma = 1,4 \text{ t/m}^3$		1,18	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	1,8	2,1	2,2	-
15	Argile nisipoase de compactitate mare $\gamma = 1,8 \text{ t/m}^3$		1,5	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2	2,4	2,5	-	-

### 3.3. DETERMINAREA NIVELURILOR MAXIME PENTRU LUCRĂRILE DE REGULARIZARE CU CARACTER LOCAL

Debitul de calcul fiind stabilit, se aleg cel puțin trei secțiuni caracteristice în sectorul ce poate fi considerat model și pentru care se face verificarea capacității de curgere în regim nemodificat (regim liber), în funcție de pante de scurgere (i) și de rugozitatea (n) corespunzătoare pe sectorul studiat (vezi figura 14)

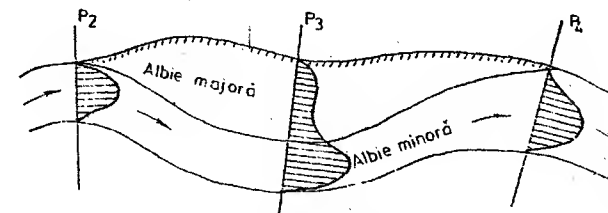


Fig. 14. Sectorul de râu ce se studiază.

Se calculează nivelul apei și viteza medie în albia minoră și majoră în regim natural (liber), corespunzător debitului de calcul și de verificare, precum și repartitia debitului între albia minoră și albie majoră.

Efectuarea calculului hidraulic, se face pe fiecare profil, începând din aval către amonte, astfel :

-în profilul aval (P4) se determină prin încercări nivelul apei care asigură curgerea debitului de calcul și nivelul corespunzător debitului de verificare, considerând corectă panta hidraulică (i) înregistrată la date ridicării (panta medie la ape mari, sau la ape mici) pe sectorul studiat, sau panta dintre profilul de calcul și profilul imediat în aval de acest profil.

-cu panta i dedusă ca mai sus și cu un nivel al apei luat în cota malurilor secțiunii și ținând seama de rugozitatea albiei, se determină capacitatea de scurgere a albiei în această secțiune. Dacă debitul obținut este mai mare sau mai mic decât debitul de calcul se păstrează panta i și rugozitățile, coborând sau ridicând nivelul apelor până când se obține debitul de calcul cunoscut

-cu panta (i) corespunzătoare pantei apei de pe tronsonul P4-P3 se transmite nivelul apei de la P4 la profilul următor P3 și se verifică dacă la acest nivel se asigură debitul de calcul și debitul de verificare.

În cazul în care debitul scurs la nivelul respectiv prezintă o abatere de +5% sau -2% față de debitul cunoscut, se reia calculul, ridicând sau coborând nivelul, deci modificând panta hidraulică (i) până când se obține debitul cunoscut sau apropiat de acesta, care să se înscrie în abaterile limită.

Calculul se continuă în același mod și în profilurile următoare P2 etc.

Nivelul apei în dreptul unui pod, în cazul că nu dispunem de un profil al albiei în zona podului, se stabilește prin interpolare, ținând seama de nivelurile apei în profilurile de calcul ediacente și de panta hidraulică rezultată din calculul între aceste profiluri.

În cazul când profilul longitudinal prezintă pante prea variate de la o secțiune la alta, precum și zone de strângere, pantele obținute ca mai sus, se corectează cu formula:

$$i = \frac{h_1 - h_2 + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g}}{L}$$

unde:  $h_1$  și  $h_2$  sunt cote amonte și aval ale apei față de un plan de referință.

Pe profilul longitudinal al cursului de apă (fig. 15) se înscriu nivelurile maxime obținute, pantele ( $i$ ) și vitezele medii ( $v_m$ ).

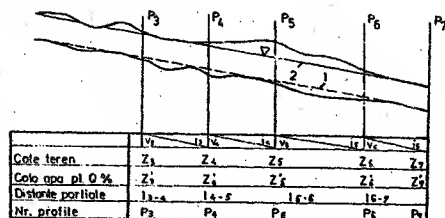


Fig. 15. Profilul longitudinal pe un sector de râu.

1. Linia pantei generale a talvegului;

2. Nivelul în curgere liberă corespunzător lui  $Q(p\%)$

În lipsa cheii limnimetrice a cursului de apă și secțiunea de apă caracteristică, se întocmesc chei limnimetrice pentru fiecare secțiune (profil) de calcul, sau pentru secțiunea caracteristică din zonă, pe care se înscriu debitele pentru diferite niveluri ce vor servi la determinarea rapidă a acestora (v. fig. 16).

Viteza medie ( $v_m$ ) a unui curs de apă se consideră egală cu 0,85 din viteza la suprafața liberă a apei ( $v_o$ ) deci:

$$v_m = v_o \cdot 0,85 \text{ (m/s)}$$

Pentru viteza la fund ( $v_f$ ) care variază între 0,5...0,8  $v_m$ , se ia media de 0,7  $v_m$ .

Deci:

$$v_f = v_m \cdot 0,7 \text{ (m/s)}$$

sau:

$$v_f = v_o \cdot 0,6 \text{ (m/s)}$$

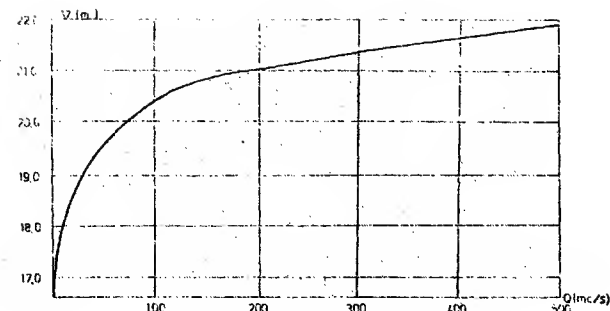


Fig. 16. Cheia limnimetrică.

Sunt situații în care avem nevoie de calcule ajutătoare. Astfel: trecerea de la valoarea unui debit maxim anual cu asigurarea cunoscută ( $Q_{max}$ ) la valorile debitelor maxime anuale de diverse asigurări/  $Q_{max}(p)$  se face cu relația:

$$Q_{max}(p) = k_p \cdot Q_{max} \text{ (m}^3/\text{s)},$$

în care:

$Q_{max}(p)$  este debitul maxim anual

$k_p$  – coeficientul de modul al debitului maxim cu probabilitatea de depășire  $p\%$

$p$  – asigurarea în procente

Coeficientul de modul  $k_p$  poate fi determinat pe baza relațiilor dintre coeficienții  $C_s$  și  $C_v$  în care:

$C_s$  – coeficientul de asimetrie al unui șir de debite maxime;

$C_v$  – coeficientul de variație al unui șir de debite maxime

Pentru calculul lui  $C_s$  se vor utiliza următoarele relații:

– pentru debitele maxime provenite din topirea zăpezilor  $C_s = 2C_v$ ,

– pentru debitele maxime provenite din ploii  $C_s = 4C_v$

– pentru debitele maxime indiferent de geneză  $C_s = (3...4)C_v$

adoptându-se valoarea minimă pentru debitele maxime provenind în majoritate, din topirea zăpezilor și valoarea maximă pentru debitele maxime provenind în majoritatea din ploii (STAS 4068/1–82)

Valorile coeficientului  $k$  se recomandă să fie determinate cu tabelele Krițki–Menkel prezentate în continuare.

Pentru râurile mici, nestudiate din punct de vedere hidrologic, trecerea de la frecvența istorică (stabilită pe baza informațiilor de la localnici), la frecvența necesară se face pe baza coeficienților din tabelul 7, considerând coeficienții:  $C_s = 4C_v$  și  $C_v = 1$

Tabelul 6

Coeficienții de trecere de la probabilitatea de depășire de la  
1% la alte probabilități de depășire  
(elaborat de I.M.H.)

Probabilitatea (p%)	Factor	Probabilitatea (p%)	Factor
0,01	3,387	1,0	1,0
0,05	2,224	2,0	0,804
0,1	1,887	3,0	0,683
0,2	1,652	5,0	0,565
0,3	1,416	10,0	0,418
0,5	1,228	20,0	0,289

Tabelul Kriški – Menkel

Valorile coeficienților  $k_p$  pentru  $C_s = 2$  Cv

p (%)	Cv															
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
0,001	1,49	2,09	2,82	3,68	4,67	5,78	7,03	8,40	9,89	11,58	13,23	15,10	17,10	19,20	21,40	23,70
0,01	1,42	1,92	2,51	3,20	3,98	4,85	5,81	6,85	7,99	9,21	10,48	11,80	13,20	14,60	16,00	17,40
0,03	1,38	1,83	2,36	2,96	3,64	4,39	5,22	6,11	7,08	8,11	9,22	10,26	11,40	12,60	13,80	15,00
0,05	1,36	1,79	2,29	2,85	3,48	4,18	4,95	5,76	6,66	7,60	8,61	9,65	10,70	11,80	12,90	14,00
0,1	1,34	1,73	2,19	2,70	3,27	3,89	4,57	5,30	6,08	6,91	7,76	8,65	9,50	10,40	11,30	12,20
0,3	1,30	1,64	2,02	2,45	2,91	3,42	3,98	4,55	5,16	5,81	6,47	7,10	7,70	8,30	8,90	9,50
0,5	1,28	1,59	1,94	2,33	2,74	3,20	3,68	4,19	4,73	5,30	5,88	6,50	7,00	7,50	8,00	8,50
1	1,25	1,52	1,83	2,16	2,51	2,89	3,29	3,71	4,15	4,61	5,06	5,50	5,90	6,30	6,70	7,10
3	1,20	1,41	1,64	1,88	2,13	2,39	2,66	2,94	3,22	3,51	3,79	4,05	4,30	4,50	4,70	4,90
5	1,17	1,35	1,54	1,74	1,94	2,15	2,36	2,57	2,78	3,00	3,21	3,45	3,60	3,80	4,00	4,20
10	1,13	1,26	1,40	1,53	1,67	1,81	1,94	2,09	2,19	2,30	2,41	2,50	2,60	2,70	2,80	2,90
20	1,08	1,16	1,24	1,31	1,38	1,44	1,49	1,54	1,58	1,61	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62
25	1,07	1,13	1,18	1,23	1,28	1,31	1,34	1,37	1,38	1,39	1,37	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34
30	1,05	1,09	1,13	1,17	1,19	1,21	1,22	1,22	1,22	1,20	1,18	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13
40	1,02	1,04	1,05	1,05	1,04	1,03	1,01	0,99	0,96	0,92	0,87	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81
50	1,00	0,99	0,97	0,95	0,92	0,88	0,84	0,80	0,75	0,69	0,64	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58
60	0,97	0,94	0,90	0,85	0,80	0,75	0,69	0,63	0,57	0,51	0,45	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
70	0,95	0,89	0,82	0,76	0,69	0,62	0,55	0,49	0,42	0,36	0,31	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
80	0,92	0,83	0,75	0,66	0,57	0,49	0,42	0,35	0,28	0,22	0,17	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15

p %	Cv											
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
90	0,87	0,75	0,64	0,53	0,44	0,35	0,27	0,21	0,15	0,11	0,07	0,05
95	0,84	0,70	0,56	0,45	0,34	0,25	0,18	0,13	0,08	0,05	0,03	0,02
97	0,82	0,60	0,52	0,39	0,29	0,20	0,14	0,09	0,05	0,03	0,02	0,01
99	0,78	0,59	0,44	0,31	0,21	0,13	0,08	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00
99,5	0,76	0,56	0,40	0,27	0,17	0,10	0,05	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00
99,9	0,72	0,49	0,32	0,19	0,11	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabelul nr 4

Tabelul Kriški – Menkel  
Valorile coeficienților hp pentru Cs = 3 Cv

p %	Cv											
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
0,001	1,40	2,28	3,35	4,69	6,30	8,21	1,042	12,86	15,52	18,28	21,30	24,60
0,01	1,42	2,06	2,88	3,78	5,00	6,28	7,70	9,21	11,00	12,89	14,85	16,86
0,03	1,39	1,99	2,62	3,41	4,34	5,48	6,59	7,74	9,14	10,64	12,24	13,83
0,05	1,36	1,88	2,50	3,23	4,10	5,06	6,07	7,1	8,32	9,66	11,02	12,43
0,1	1,35	1,80	2,36	3,00	3,75	4,56	5,45	6,31	7,33	8,43	9,54	10,58
0,3	1,31	1,69	2,12	2,64	3,22	3,82	4,44	5,11	5,84	6,62	7,40	8,21
0,5	1,29	1,63	2,02	2,48	3,00	3,50	4,00	4,58	5,21	5,85	6,50	7,16
1	1,25	1,55	1,88	2,25	2,66	3,07	3,49	3,92	4,40	4,88	5,37	5,85
3	1,21	1,42	1,67	1,91	2,17	2,42	2,70	2,94	3,22	3,47	3,74	3,99
5	1,17	1,36	1,54	1,75	1,94	2,14	2,35	2,51	2,70	2,89	3,05	3,23
10	1,14	1,26	1,39	1,52	1,63	1,76	1,87	1,97	2,09	2,15	2,24	2,31
20	1,09	1,16	1,23	1,29	1,33	1,38	1,42	1,45	1,47	1,49	1,49	1,50
25	1,07	1,12	1,17	1,21	1,23	1,26	1,27	1,29	1,28	1,28	1,27	1,27
30	1,05	1,09	1,12	1,14	1,15	1,15	1,16	1,15	1,14	1,15	1,11	1,08

33

p %	Cv											
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
40	1,02	1,03	1,03	1,03	1,01	0,00	0,97	0,95	0,91	0,88	0,85	0,81
50	0,99	0,98	0,96	0,93	0,90	0,86	0,82	0,78	0,74	0,70	0,66	0,61
60	0,97	0,93	0,89	0,84	0,79	0,74	0,69	0,65	0,60	0,55	0,50	0,46
70	0,94	0,88	0,82	0,76	0,70	0,64	0,58	0,53	0,47	0,42	0,37	0,33
75	0,93	0,86	0,79	0,72	0,65	0,58	0,52	0,47	0,41	0,35	0,31	0,27
80	0,91	0,83	0,75	0,67	0,60	0,53	0,47	0,41	0,36	0,31	0,26	0,22
90	0,97	0,76	0,60	0,57	0,48	0,41	0,34	0,29	0,24	0,19	0,16	0,12
95	0,84	0,71	0,59	0,49	0,41	0,33	0,24	0,21	0,17	0,13	0,10	0,07
97	0,83	0,68	0,56	0,45	0,36	0,28	0,22	0,17	0,13	0,10	0,07	0,05
99	0,79	0,62	0,48	0,37	0,29	0,21	0,16	0,12	0,08	0,06	0,04	0,03
99,5	0,77	0,59	0,45	0,34	0,25	0,18	0,12	0,09	0,06	0,04	0,03	0,02
99,7	0,70	0,57	0,43	0,31	0,23	0,16	0,12	0,08	0,05	0,03	0,02	0,01
99,9	0,73	0,53	0,38	0,27	0,19	0,13	0,09	0,06	0,03	0,02	0,01	0,01

Tabel nr 5

Tabelul Kriški – Menkel  
Valorile coeficienților kp pentru Cs = 4 Cv

p %	Cv											
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
0,001	1,58	2,50	3,82	5,60	8,10	11,00	14,20	17,50	20,60	24,00	27,50	32,90
0,01	1,51	2,20	3,15	4,35	5,90	7,70	9,57	11,40	13,55	15,60	17,65	20,71
0,03	1,45	2,05	2,87	3,85	5,05	6,35	7,81	9,15	10,70	12,25	13,70	15,99
0,05	1,40	1,97	2,72	3,60	4,70	5,75	7,00	8,20	9,46	10,90	12,10	13,99
0,1	1,38	1,87	2,53	3,29	4,20	5,07	6,05	7,02	8,12	9,25	10,42	11,65
0,3	1,34	1,73	2,23	2,81	3,45	4,09	4,76	5,46	6,18	6,94	7,71	8,53
0,5	1,30	1,67	2,10	2,60	3,13	3,69	4,25	4,81	5,38	6,02	6,65	7,31
1	1,25	1,58	1,94	2,34	2,77	3,17	3,59	4,01	4,43	4,90	5,35	5,82
3	1,19	1,43	1,67	1,92	2,18	2,44	2,67	2,90	3,12	3,35	3,60	3,84



34

5	1,17	1,36	1,55	1,75	1,93	2,11	2,28	2,45	2,60	2,77	2,92	3,07
10	1,11	1,26	1,38	1,51	1,61	1,72	1,82	1,90	2,00	2,05	2,12	2,18
20	1,08	1,15	1,21	1,26	1,31	1,34	1,37	1,40	1,41	1,42	1,43	1,43
25	1,06	1,11	1,16	1,19	1,21	1,23	1,23	1,24	1,25	1,24	1,24	1,22
30	1,06	1,08	1,10	1,12	1,13	1,13	1,12	1,12	1,10	1,09	1,07	1,05
40	1,02	1,03	1,02	1,01	0,99	0,97	0,95	0,93	0,90	0,87	0,85	0,81
50	0,99	0,98	0,95	0,92	0,89	0,85	0,82	0,76	0,75	0,71	0,67	0,63
60	0,97	0,93	0,89	0,84	0,79	0,75	0,70	0,66	0,62	0,57	0,53	0,49
70	0,94	0,88	0,82	0,76	0,71	0,65	0,60	0,55	0,50	0,46	0,42	0,38
75	0,93	0,86	0,79	0,72	0,66	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40	0,37	0,32
80	0,91	0,83	0,75	0,68	0,61	0,55	0,50	0,45	0,40	0,36	0,31	0,27
90	0,88	0,77	0,67	0,59	0,51	0,44	0,38	0,33	0,29	0,25	0,21	0,18
95	0,85	0,72	0,61	0,52	0,44	0,37	0,32	0,26	0,22	0,18	0,15	0,12
97	0,83	0,69	0,58	0,48	0,40	0,35	0,27	0,23	0,18	0,15	0,12	0,10
99	0,80	0,64	0,52	0,42	0,34	0,27	0,22	0,17	0,14	0,11	0,08	0,06
99,5	0,78	0,61	0,49	0,39	0,30	0,24	0,19	0,15	0,11	0,08	0,06	0,05
99,7	0,77	0,60	0,47	0,37	0,29	0,22	0,17	0,13	0,10	0,07	0,05	0,04
99,9	0,75	0,56	0,43	0,33	0,25	0,19	0,14	0,10	0,08	0,05	0,04	0,03

## 3.4. DETERMINĂRI HIDRAULICE ÎN SECȚIUNI STRANGULATE

În albiile cursurilor de apă în care prezența sau prevederea unor lucrări de apărare reduc secțiunea de curgere, schimbă morfologic patul albiei și modifică nivelul debitului de calcul, sunt necesare determinări hidraulice referitoare la:

- calculul afuiilor,
- calculul supraînălțărilor de nivel.

Recomandările se referă în special la lucrările de apărare, consolidare și dirijare și nu la poduri și podete, unde calculele enunțate se tratează conform Normativului PD 95-77/52.

Afuiile se calculează la cursurile de apă cu patul și malurile erodabile, în zonele unde se prevăd lucrări de apărare, consolidare și dirijare. Acest fenomen se produce în cazul în care viteza din secțiunea strânată este mai mare decât viteza medie de antrenare dată în tabelul 8 și 7.3.

Afuierea maximă totală este alcătuită din:

- afuierea generală și afuierea locală.

**Afuierea generală**

La albiile erodabile și instabile la care nu se iau măsuri speciale pentru protecția împotriva afuiirii sau de stabilitate a malurilor, se pot produce în timp, modificări ale poziției albiei minore, astfel încât afuierea generală ar putea atinge valoarea maximă determinată ca pentru albia minoră.

a) Calculul afuierii generale se face cu relația:

$$E = \frac{h_{af}}{h} = \frac{v_{mp}}{v_m}$$

$$h_{af} = \frac{v_{mp}}{v_m} \cdot h = E \cdot h$$

dacă:

$$v_{mp} > v_m$$

unde:

E - este coeficientul de afuiere generală medie;

$h_{af}$  - adâncimea apei în punctul respectiv, după producerea afuierii generale;

h - adâncimea medie a apei într-un punct parecare al secțiunii de curgere, înainte de afuiere;

$v_{mp}$  - viteza medie a apei în albia minoră în secțiunea lucrării, înainte de producere afuierii;

$v_m$  - viteza medie a apei în albia minoră.

b) Cu această relație se poate calcula linia afuierii albiei și afuierea generală maximă, care se obține din diferența dată de relația:

$$h_{af \max} - h_{m \max} = af. gener. max.$$

unde

$h_{af\ max}$  este adâncimea maximă a curentului după afuiere.

$h_{m\ max}$  este adâncimea medie maximă inițială a curentului.

c) La cursurile de apă cu albie erodabilă, valoarea coeficientului E de afuiere generală limită se recomandă să nu depășească 1,4 - 1,5 pentru evitarea unor construcții de apărare și dirijare costisitoare.

În cazul albiilor la care creșterea adâncimii apei în albia minoră, ca urmare a afuiierilor generale, este mică (0,5 - 0,8 m) se poate depăși valoarea coeficientului E de mai sus.

#### Afuierea locală.

Calculul afuiierilor locale (afi) la pilele podului se face în ipoteza că afuiierile generale s-au produs la viteză maximă.

Adâncimea maximă a afuiierilor locale ( $h_{af}$ ) la pilele podului se calculează aproximativ cu formulele de mai jos:

- când  $v < v_a$

$$afi = 2,42 \cdot k_f \cdot k_{\alpha} \cdot b \left( \frac{2v}{v_a} - 1 \right) \left( \frac{v_a^2}{g \cdot b} \right)^{\frac{1}{3}}$$

-când  $v \geq v_a$

$$afi = 2,42 \cdot k_f \cdot k_{\alpha} \left( \frac{v_a^2}{g \cdot b} \right)^{\frac{1}{3}}$$

unde:

b - lățimea pilei;

v - viteza curentului în amonte de pilă în albia naturală a cursului de apă (m/s);

$v_a$  - viteza medie de antrenare a aluviunilor de pe patul albiei, la adâncimea corespunzătoare afuiierilor generale;

$k_f$  - coeficientul care ține cont de forma pilei în secțiune transversală (fig. 17);

$k_{\alpha}$  - coeficientul care ține seama de unghiul de incidență al curentului cu pila (fig. 18);

g - accelerația gravitațională.

Calculul afuiierilor locale nu se face în cazul în care se prevăd lucrări de consolidare a patului albiei (pereuri, salturi de gabioane, radiere de beton, etc.). La calculul afuiierilor locale din zona pilelor, în formulele de mai sus se consideră lățimea pilei  $b = 1$  m, iar viteza, egală cu viteza medie a apei în dreptul culeii.

Afuiierile totale rezultă din însumarea afuiierilor generale și locale:

$$af_t = af_g + af_l$$

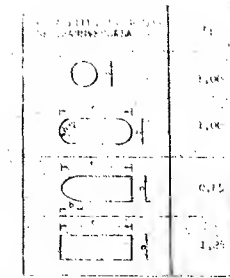


Fig. 17 Valoarea coeficientului  $k_f$

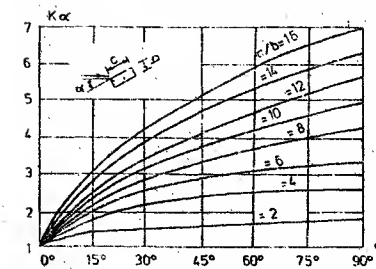


Fig. 18 Coeficientul  $k_{\alpha}$

Calculul aproximativ al supraînălțării de nivel se face cu relația, aplicată pentru albia minoră:

$$\Delta z = \frac{v_{mp}^2 - v_m^2}{2g}$$

admițând că remuiul se produce înaintea afuiierilor, unde:

$\Delta z$  - supraînălțarea de nivel (m);

$v_{mp}$  - viteza medie a apei în albia minoră, în secțiunile lucrării (pod, epui, etc.) în m/s;

$v_m$  - viteza medie a apei în albia minoră, în regim natural (m/s).

La stabilirea cotelor rampelor de acces la pod, se va ține seama de influența supraînălțării.

Lungimea  $L_z$  pe care se întinde supraînălțarea de nivel, se determină aproximativ și acoperitor cu relația:

$$L_z = \frac{2 \Delta z}{1}$$

în care:

$L_z$  – distanța pe care se întinde supraînălțarea de nivel (m).

$\Delta z$  – variația de nivel (m).

$i$  – panta suprafeței libere a apei corespunzătoare debitului pentru care s-a calculat supraînălțarea  $\Delta z$ .

a) Se poate admite că valoarea maximă a supraînălțării se produce în amonte, la o distanță egală cu aproximativ  $2,5 b$  ( $b$  fiind lățimea albiei acoperită de pod între fețele culeelor, față de axa podului).

b) Pentru ușurința calculului, suprafața liberă a apei pe zona pe care se produce supraînălțarea de nivel se poate lua plană.

c) În funcție de valoarea supraînălțării, lungimea  $L_z$  prezintă importanță în cazul unor obiective care nu trebuie să fie inundate sau, în cazul râurilor îndiguite, la care digurile trebuiesc supraînălțate.

Verificarea debitului scurs prin secțiunea lucrării, pentru o supraînălțare de nivel  $\Delta z$  dată, se poate face cu formula dată de Ruhlmann:

$$Q = \mu \cdot b \sqrt{2g} \left\{ \frac{2}{3} \left[ (\Delta z + k) \frac{3}{2} - k^2 \right] + h \sqrt{\Delta z + k} \right\} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

unde:

$\mu$  – coeficientul de reducere a ariei secțiunii active de curgere în albia minoră datorită contracției hidraulice produse de infrastructură ( $s$ ) și strânguturii geometrice datorat pililor ( $e$ );

$b$  – lungimea podului (între fețele culeelor), în m;

$$k = \frac{v_m^2}{2g}$$

$h$  – înălțimea medie a lamei de apă în secțiunea lucrării în regim modificat.

#### 4. PROIECTAREA LUCRĂRILOR DE AMENAJARE A ALBIEI MINORE

##### 4.1. RELAȚII MORFOMETRICE

4.1.1. Curentul de apă caracterizat printr-un anumit regim de curgere, generează o evoluție continuă a albiei râurilor, generează procese de albie cu intensitate mai mare sau mai mică în funcție de intensitatea factorilor climatici și de caracteristicile geofizice ale terenului pe care are loc scurgerea.

Observațiile și măsurătorile efectuate, au arătat că între parametrii hidraulici și cei geometrici ai albiilor formate într-un pat aluvionar și relativ stabilizate, există anumite legături de corelație numite *relații morfometrice*. Aceste relații morfometrice prezintă o deosebită importanță pentru practica hidrotehnică, întrucât stau la baza fenomenelor morfologice și a dimensionării lucrărilor de regularizare a albiilor râurilor.

Până în prezent obținerea relațiilor morfometrice a fost pur empirică, neexistând încă o teorie care să explice fenomenul formării albiilor râurilor într-un pat aluvionar.

Această metodă de obținere a relațiilor morfometrice este cunoscută în literatura de specialitate sub denumirea de *teoria regimului*. Râurile care se încadrează în această teorie sunt acelea care au un regim hidrologic stabil și ale căror alpii s-au format în propiile lor aluvionuri. Un râu aflat în regim nu prezintă variații importante ale dimensiunilor în lungul său, găsindu-se în stare de echilibru și nu pot apărea înisipări sau eroziuni. Nu se încadrează în teoria regimului, râurile a căror curgere este influențată de diferite amenajări executate în bazinele hidrografice respective.

Profilele apelor mari, cu alpii majore foarte late, nu sunt profile de curgere cu caracter continuu și de aceea nu pot fi luate în considerare.

Debitul de calcul ce se ia în considerare în relațiile respective este ales după criterii diferite, astfel că poate fi:

- debitul care umple albia minoră;
- debitul mediu multianual, dacă transportul aluviunilor târâte începe sub acest debit

- debitul maxim de calcul;
- debitul ideal sau debitul de formare prezentat în prima parte.

La utilizarea debitelor este recomandabil să se ia debitele cu frecvența dată de autorii respectivi, alfel rezultă cu totul alte valori decât cele normale, reale.

După L. B. Leopold și T. Maddock relațiile morfometrice au o formă exponențială de tipul:

$$h = A_h Q^\alpha \quad - \text{adâncimea medie a apei,}$$

$$b = A_b Q^\beta \quad - \text{lățimea medie a albiei,}$$

$$I_f = A_f Q^\gamma \quad - \text{panta medie a fundului albiei,}$$

$$u = A_u Q^\delta \quad - \text{viteza medie de curgere,}$$

$$G_f = A_g Q^\epsilon \quad - \text{debitul târât,}$$

$$G_s = A_s Q^\eta \quad - \text{debitul în suspensie,}$$

$k = A_k Q^\theta$  – coeficientul de rugozitate (Strickler) și pe baza ecuației de continuitate,

$$A_h A_b A_u = 1 \quad \text{și} \quad \alpha + \beta + \delta = 1.$$

Dintre relațiile morfometrice care se pot utiliza cu succes în practică pot fi citate cele ale lui D. B. Simmens și M. L. Albertson, care pentru fundul nisipos al albiei și maluri coezive au următoarele expresii:

$$P = 4,75 Q^{0,512}; \quad R = 0,476 \cdot Q^{0,361}; \quad \mu = 10,8 \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/3}; \quad \frac{C^2}{g} = \frac{u^2}{gR} = 0,525 \left( \frac{u_b}{v} \right)^{0,37}$$

pentru fund și maluri nisipoase:

$$u = 9,35 \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/3}$$

pentru fund și maluri din material grosier necoeziv

$$R = 0,366 \cdot Q^{0,361} \quad u = 10,8(R^2)^{0,286}$$

#### 4.1.2. RELATII BAZATE PE ECHILIBRU LIMITĂ AL PARTICULELOR DE FUND

În aceste relații se folosește coeficientul de stabilitate al albiei care reprezintă raportul dintre diametrul mediu al particulelor și produsul dintre raza hidraulică și pantă.

$$A = \frac{d_m}{Ri}$$

Relațiile morfometrice bazate pe echilibru limită al particulelor de fund sunt:

$$h = A_1^{-0,23} \cdot A_2^{-0,46} \cdot A_3^{0,46} \cdot Q^{0,46} \quad (m)$$

$$B = A_1^{-0,25} \cdot A_2^{-0,46} \cdot A_3^{-0,54} \cdot Q^{0,46} \quad (m)$$

$$u = A_1^{0,46} \cdot A_2^{0,92} \cdot A_3^{0,8} \cdot Q^{0,58} \quad (m/s)$$

unde:

B este lățimea albiei,  $A_1 = h/l$ ,  $A_2 = u h R^{-2/3} l^{-1/2}$  și  $A_3 = \frac{h}{B}$ , iar  $Q \equiv u h B$

#### 4.1.3. RELATII BAZATE PE DISIPAREA ENERGIEI CIRCULAȚIEI TRANSVERSALE

S. T. Altunin și I. A. Buzunov recomandă relația

$$B = A Q^{0,51-0,2} \quad ; \quad h = \frac{1}{a} B^m$$

Elementele albiei stabile după S. T. Altunin și I. A. Buzunov se găsesc în tabelul 9 și 10, unde debitul de calcul este  $Q$ , cu asigurarea de 5 – 10 %. În cazul că se folosește alt debit decât  $Q$ , atunci se utilizează în locul coeficientului A, coeficientul de corecție det de relația:

$$A_m = A \sqrt{\frac{u_{01} M}{u_{01} m}}$$

Tabelul 9

VALORILE COEFICIENTILOR DE STABILITATE A ALBIEI DUPĂ  
S. T. ALTUNIN ȘI I. A. BUZUNOV

Nr crt	Felul albiei	A	m	a	m pentru a=10	a pentru m=0,5
1	Cursul superior al râului în regiune muntoasă	0,7 – 0,9	1,0 – 0,8	16 – 10	0,9 – 0,8	2 – 3
2	Idem; regiune de deal la ieșirea râului în șes	0,9 – 1,0	0,8 – 0,67	10 – 9	0,8 – 0,75	3 – 5
3	Cursul mijlociu al râului (zona de șes)	1,0 – 1,1	0,57 – 0,5	9 – 5	0,75 – 0,7	4 – 5
4	Cursul inferior al râului	1,1 – 1,3	0,57 – 0,5	4,1 – 3	0,75 – 0,5	2,7 – 10

Tabelul 10

ELEMENTELE ALBIEI STABILE DUPĂ ALTUNIN ȘI BUZUNOV

$\alpha = \frac{1}{2+h}$	Panta stabilă I, în %	Lățimea B la oglinda apei în m.	Adâncimea medie h în m.	Viteza medie u în m/s
$\frac{1}{5}$	$I = 0,00192 \frac{A^{0,563} u_{01}^{3,28}}{Q^{0,326}}$	$B = A \frac{Q^{0,5}}{I^{0,2}}$	$h = 0,732 \frac{u_{01}^{10/3}}{(1000)^{10/9}}$	$u = u_{01} h^{1/5}$
$\frac{1}{4}$	$I = 0,00163 \frac{A^{0,563} u_{01}^{3,21}}{Q^{0,268}}$	IDEM	$h = 0,685 \frac{u_{01}^4}{(1000)^2}$	$u = u_{01} h^{1/4}$
$\frac{1}{3}$	$I = 0,00123 \frac{A^{0,310} u_{01}^{3,15}}{Q^{0,154}}$	IDEM	$h = 0,565 \frac{u_{01}^6}{(1000)^2}$	$u = u_{01} h^{1/3}$

#### 4.1.4. RELATII MORFOMETRICE PENTRU CANALE ARTIFICIALE

Dintre multiplele relații de calcul pentru canale artificiale cităm pe cele ale lui G. Lacey care în urma unor studii și măsurători efectuate în India și Pakistan, prezintă următoarele relații:

$$f = 1,58 d_m^{0,5} \quad - \text{factorul de înămolire, } d_m \text{ în mm}$$

$P = (41 + 48)Q^{0.5}$  -- perimetrul murat (m)

$I = \frac{f^{5.3}}{3.210^3 Q^{0.5}}$  -- panta fundului

$R = 0.47f^{-1.3}Q^{1.3}$  -- raza hidraulică (m)

## 4.2 ELEMENTELE CARACTERISTICE ALE ALBIEI MINORE STABILE

### 4.2.1. NIVELUL DE REGULARIZARE

Acest nivel se stabilește în legătură cu unul din debitele caracteristice:

- regularizarea pentru debitele medii;
- regularizarea pentru debitele apelor mici;
- regularizarea pentru debitele apelor mari;

Deasemeni în proiectare se iau în considerare și nivelurile minime, medii și maxime pentru curgerea ghețurilor, nivelurile minime din perioada de vegetație, nivelul de formare a albiei, etc.

### 4.2.2. TRASEUL DE REGULARIZARE

Pornind de la ecuațiile hidraulicii și de la unele relații morfometrice, traseul meandrat al albiilor râurilor corespunde principiului energiei disipate minime sau principiului debitului maxim. Traseul de regularizat este strâns legat de panta disponibilă și de natura terenului și este determinat de linia talvegului.

În funcție de intensitatea și natura intervențiilor se studiază, de la caz la caz, soluțiile referitoare la traseul în planul orizontal al albiei minore și anume:

#### a) Regularizarea locală.

În acest caz se obișnuiește să se mențină traseul existent, acționându-se în vederea stabilizării fundului și malurilor secțiunii de curgere. Uneori sunt necesare și rectificări ale albiei, pe un nou traseu, de mică lungime și în general obligat de amplasamentul construcțiilor.

b) Regularizarea conservativă, constă în aceea că albia amenajată urmărește în general traseul albiei naturale și păstrează elementele hidraulice și morfometrice ale acesteia. Și aici, lucrările necesare se referă îndeosebi la stabilizarea malurilor, local putând interveni rectificări ale traseului, în cazul unor meandre pronunțate.

Un caz particular al regularizării conservative îl constituie *calibrarea albiei minore*, prin care se urmărește (menținându-se traseul existent) mărirea capacității de transport a acesteia.

Soluția se are în vedere îndeosebi în cazul în care cursul de apă se îndiguieste, digurile fiind amplasate în apropierea malurilor urmărindu-se de regulă două scopuri.

- mărirea capacității de curgere, în vederea reducerii înălțimii digurilor, preluându-se astfel o parte din efectul de dezastru al acestora;
- obținerea volumului de terasamente necesare realizării digurilor.

Din experiența unor astfel de lucrări realizate până în prezent se consideră că această soluție este mai puțin indicată deoarece:

- mărirea capacității de curgere a albiei minore este destul de redusă, fiind mai avantajos de a depărta digurile de mal.

- prin reprofilarea secțiunii existente se distruge aproape total consolidarea naturală a malurilor, mărindu-se pericolul de erodare și deci apare necesitatea realizării unor protecții de mal, lucrări în general costisitoare,

- având în vedere caracteristicile albiei minore (lățimea și adâncimea), practic la cursurile de apă mai mari cu utilajele obișnuite, nu se poate acționa decât în apropierea malurilor, astfel în consecință, capacitatea de transport crește foarte puțin.

Din aceste motive calibrarea albiei minore reprezintă de cele mai multe ori *nu o soluție constructivă, justificată hidraulic, ci o soluție tehnologică* pentru realizarea digurilor, dar care poate conduce la implicații mari asupra stabilității cursurilor de apă.

Din aceste motive, calibrarea albiei minore trebuie să fie realizată numai în situații obligate (ca de exemplu în cazul spațiului insuficient pentru realizarea digurilor) și, în general, la cursurile mici de apă, puternic colmatate prin reprofilarea secțiunii nu se realizează viteze de curgere mai mari de 1,2 - 1,5 m/s care pot provoca fenomene de eroziune.

c) Regularizarea radicală constă în realizarea în cea mai mare parte a unei albie noi, care modifică total sau parțial elementele hidraulice și morfometrice ale albiei naturale în această situație intervine de fapt analiza variantelor posibile, urmărindu-se realizarea unui traseu stabil.

În plan, traseul albiei regularizate este alcătuit din curbe și contracurbe, legate între ele prin aliniamente cât mai scurte. Traseul în curbă poate avea diferite forme (măner de coș, parabolă, etc.), în practică utilizându-se de cele mai multe ori o singură rază curbura.

Traseul stabil al albiei regularizate se alege respectând relațiile:

$$r = (5 \dots 6)B$$

$$L = cB$$

în care L reprezintă distanța dintre două curbe, L - lățimea albiei, iar c - coeficient cu valoarea cuprinsă între 10 - 14, r - reprezintă raza de curbura a axului albiei.

Pentru majoritatea râurilor stabile din țara noastră, raportul  $r / B$  are valori apropiate de 5 - 6.

Traseul regularizat trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

- traseul în plan al albiei minore va urmări pe cât posibil traseul existent al cursului de apă, sprijinindu-se pe malurile înalte stabile, pe lucrările existente, etc. (regularizarea conservativă);

- dacă condițiile de temă o cer, traseul albiei va putea fi abătut de la cel existent (regularizare radicală), atât pentru satisfacerea cerințelor generale de regularizare cât și pentru a îmbunătăți condițiile de amplasare și exploatare a obiectivelor riverane sau de folosință a terenurilor agricole. Oportunitatea unei astfel de soluții se va stabili pe baza unei analize tehnico - economice,

- traseul adoptat trebuie răcordat corespunzător, din punct de vedere hidraulic și constructiv cu sectoarele de la extremitățile amonte și aval, precum și cu afluenții de pe parcurs, ținându-se seama atât de lucrările existente cât și de posibilitățile de regularizare în viitor a acestora;

– traseul albiei minore nu trebuie să fie mult mai sinuos decât traseul general al albiei majore, prin care curg apele mari, pentru a nu se produce împotmoliri sau eroziuni puternice în albia minoră;

– la definitivarea traseului albiei regularizate se va ține seama de existența unor balastiere, gropi de împrumut, care se vor încadra convenabil în traseul general de regularizare, prevăzându-se lucrări de terasamente și apărări de mel necesare.

Relațiile morfometrice prezentate anterior necesită precizarea coeficienților morfometrici pe baze unor măsurători pe sectoare de albie stabile.

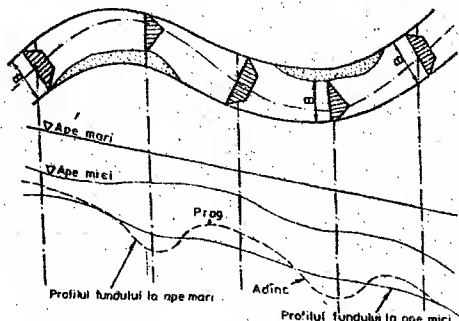


Fig. 19. Traseul sinuos al unui curs de apă, vedere în plan și profil longitudinal.

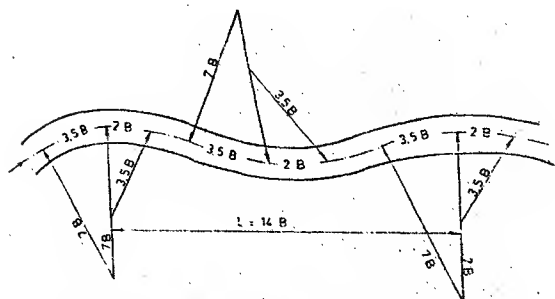
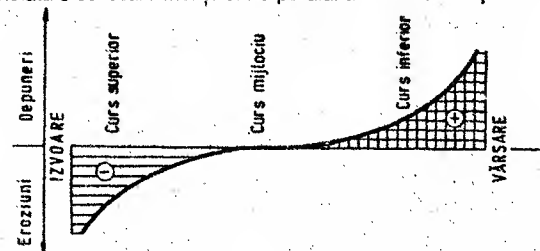


Fig. 20. Traseul albiei regularizate (Altunin)

#### 4.3.2. PROFILUL LONGITUDINAL AL ALBIEI REGULARIZATE

În lungul râurilor, acțiunea curentului de apă de a eroda patul albiei se manifestă diferit, datorită vitezei medii diferite pe care o are. Pe cursul superior, unde panta longitudinală este mai mare și viteza curentului este mai mare, există tendința de adâncire a albiei, în schimb pe cursul inferior, unde panta este mică, există tendința de

depunere a aluviunilor transportate și deci tendința de ridicare a fundului albiei. Pe cursul mijlociu se constată o oarecare menținere a patului albiei la aceeași cotă.



#### a) Criteriul de stabilitate locală

Stabilitatea locală a profilului longitudinal al albiei unui curs de apă se obține în acele secțiuni în care efortul de antrenare al aluviunilor de către curent se găsește într-un anumit raport față de efortul de antrenare a aluviunilor.

Dacă energia disponibilă a curentului este mai mare decât energia necesară transportării debitului solid târât venit din amonte pe sectorul respectiv, se vor produce eroziuni și deci fundul albiei va coborâ. Invers, dacă energia disponibilă a curentului este mai mică, se vor produce depuneri de aluviuni. Deci sectorul considerat se află în echilibru dacă debitul târât este maxim, la o capacitate de transport dată a curentului de apă.

Ca urmare, criteriul de stabilitate locală al albiilor râurilor este:

$$\tau \approx 10\tau_{cr} \quad \text{— albiile stabile;}$$

$$\tau \neq 10\tau_{cr} \quad \text{— albiile instabile;}$$

- depuneri, ridicarea fundului albiei,
- eroziuni, coborârea fundului albiei.

sau:

$$v \approx 2v_{cr} \quad \text{— albiile stabile}$$

$$v \neq 2v_{cr} \quad \text{— albiile instabile}$$

unde:

$$v_{cr} = a \cdot \sqrt{g \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \cdot d} \cdot \left(\frac{R}{d}\right)^m$$

în care:

$$m = \frac{1}{4} + \frac{1}{6} \quad \text{frecvent } m = \frac{1}{6}$$

$$e = 1,3 + 1,4 \text{ pentru } d = 0,2 + 0,25 \text{ mm}$$

$$a = 1,2 \text{ pentru } 0,25 \text{ mm} < d < 0,7 \text{ mm}$$

$$a = 1,0 \text{ pentru } d > 0,7 \text{ mm}$$

$$d = d_{90} \text{ sau } d_{95}$$

$$R = \text{raza hidrolică}$$

$$\gamma_s = \text{greutatea specifică a aluviunilor}$$

$$\gamma = \text{greutatea specifică a apei.}$$

## b) Criteriul de stabilitate generală

Acest criteriu se materializează printr-o relație morfometrică de forma:

$$Q = \frac{\text{const.}}{i^n}$$

care reprezintă o asimptotă către care tinde profilul longitudinal al albiilor râurilor și unde  $n < 1$  (după diverși autori  $n = 0,35 \pm 1,00$ ).

## c) Reguli de proiectare a profilului longitudinal al albiei regularizate

Așa după cum am văzut mai înainte, de regulă profilul longitudinal al unui curs de apă are formă parabolică cu panta descrescând spre aval. La stabilirea profilului longitudinal al albiei regularizate trebuie să se țină seama de următoarele reguli:

- trebuie avute în vedere cotele obligate ale fundului albiei cum ar fi confluențele, precum și cotele impuse de viitoare lucrări de amenajare (captări de apă, poduri, canale, căderi, traversări de conducte subterane, etc.);
- necesitatea de asigurare prin adoptarea unor cote și pante corespunzătoare în vederea asigurării curgerii debitelor lichide și solide fără inundarea terenurilor agricole, așezărilor omenești sau a obiectivelor economice riverane, fără transformări apreciable în morfologia albiei la orice nivel de apă;
- influența asupra stratului de apă subterană.

Coborârea liniei fundului albiei regularizate sub cel al albiei naturale, prin săpături sau eroziunea de către curentul de apă (autodragaj) poate fi utilizată ca măsură de reducere a costului îndiguirii și îmbunătățirii curgerii apelor mari sub poduri etc.

În cazul unor albie cu panta longitudinală mare, care determină viteze de curgere ce depășesc vitezele critice de antrenare, trebuie luate măsuri de consolidare a fundului albiei cu saltele de fascine, anrocamente, traverse sau se reduce panta prin realizarea de praguri de fund și trepte de cădere.

În acest sens trebuie tratată cu toată atenția problema tăierilor de meandre în care dacă se exagerează și nu se prevăd lucrări de consolidare corespunzătoare, se poate compromite întreaga lucrare de regularizare.

La proiectarea profilului longitudinal al albiei regularizate în aval de lacurile de acumulare sau în zona exploatărilor de balast, este necesar să se țină cont de faptul că linia fundului albiei coboară datorită fenomenului de eroziune. Pentru aceasta este necesar să se determine linia fundului albiei, după eroziune, pe bază de calcui sau, eventual, prin studii pe modele hidraulice.

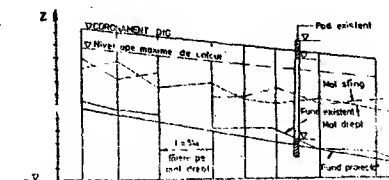
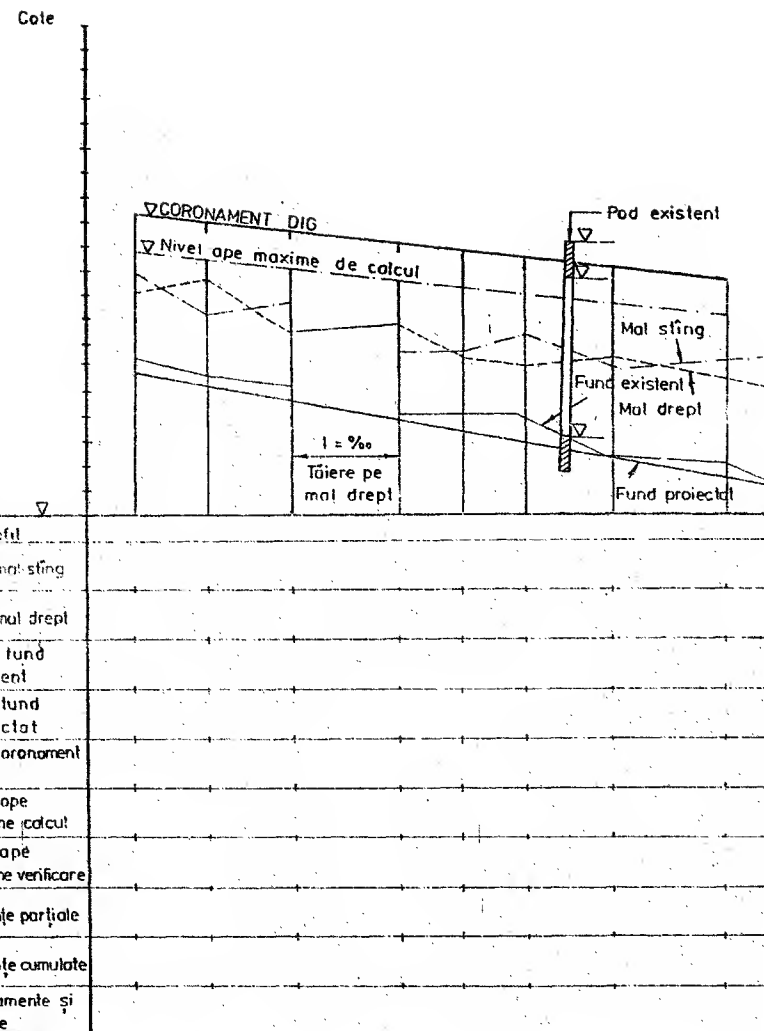


Fig. 21. Profilul longitudinal al albiei regularizate.



## NOTĂ:

Elementele prezentate în profil sunt minime.

Fig. 21. Profilul longitudinal al albiei regularizate

Profilul în lungul albiei regularizate trebuie să conțină următoarele elemente principale:

- linia talvegului albiei regularizate și a albiei naturale;
- linia coronamentului în axul digurilor de apărare împotriva inundațiilor existente sau proiectate, cu indicarea eventualelor lucrări de traversare a acestora, în cazul când se realizează concomitent regularizarea elbiei minore și majore;
- linia oglinzii apei la diferite debite caracteristice, înainte și după regularizare;
- poziția și cotele diferitelor construcții din albie.

#### 4.2.2. SECȚIUNEA TRANSVERSALĂ STABILĂ A ALBIEI REGULARIZATE

De regulă, profilul are o formă simplă sau dublu trapezoidală și foarte rar, parabolică sau dreptunghiulară.

Se deosebesc următoarele secțiuni transversale caracteristice ale albiilor regularizate:

- secțiunea unică în săpătură;
- secțiunea etajată în săpătură.

În general, pentru regularizarea albiei minore primul tip de secțiune este cea mai utilizată. Cel de al doilea tip de secțiune se utilizează pentru albiile cu deschideri foarte mari sau de adâncimi mari, când se urmărește trecerea unui debit minim (de servitute) prin cunetă, fie evitarea unor taluzuri înalte, inestetice, realizându-se totodată mărirea stabilității laterale. În afara cazului când adâncimea debiului impune acest tip de secțiune, se va evita realizarea unei secțiuni etajate, care la același volum de săpătură conduce la lățimi foarte mari, ocupând suprafețe mari din terenul agricol. Trebuie evitat în vedere și faptul că în timp cunetele nu își mențin traseul în plan decât dacă este fixat prin lucrări de consolidare.

În asemenea situații o soluție de înlocuire este realizarea unei secțiuni unice, compensându-se cuneta prin realizarea înclinată a fundului, de la muchea taluzurilor spre axul central (fig. 22).

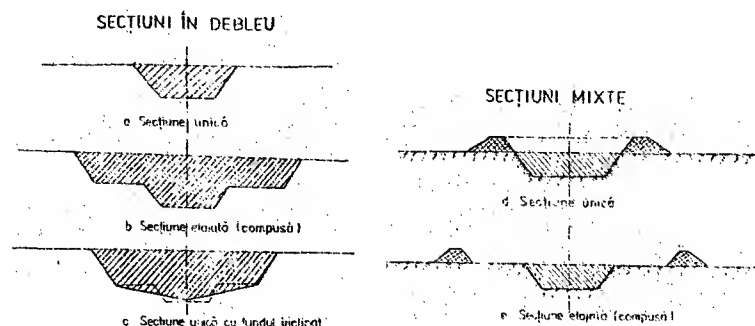


Fig. 22 Secțiuni transversale caracteristice ale albiilor regularizate.

În situațiile în care se realizează atât regularizarea albiei minore cât și a celei majore, secțiunea transversală poate fi:

- secțiune unică în săpătură și umplutură (mixtă)
- secțiune etajată (compusă) în săpătură și umplutură (mixtă)

Prima se folosește atunci când digurile se amplexează pe mal, evitând taluzul dinspre apă în continuarea taluzului albiei minore. De regulă se va evita pe cât posibil o astfel de soluție, ce conduce la o încorsetare puternică a albiei, și determină necesitatea unor soluții de consolidare atât a elbiei cât și a digurilor.

Soluția a doua reprezintă cazul obișnuit de regularizare, când digurile sunt amplasate la distanțe variabile de mal. În asemenea situații se caută pe cât posibil, pentru realizarea unor lucrări economice, ca volumul de săpătură să compenseze volumul de umplutură. Profilele transversale ale albiei minore regularizate trebuie astfel proiectate încât să se asigure scurgerea în condiții optime a debitelor lichide și solide.

Conturul poligonal al albiei minore se poate realiza prin săpături și umpluturi bine compactate protejate prin înierbare sau prin lucrări grele, după caz, cum sunt lucrările de regularizare de tip epui, digurile de dirijare submersibile și pragurile de fund.

Dimensiunile definitive ale secțiunilor albiei regularizate se stabilesc numai după verificarea stabilității acestora la debitul maxim de calcul. Stabilitatea locală este asigurată dacă:

- vitezele maxime de curgere, corespunzătoare debitului de calcul, sunt mai mici decât vitezele critice de antrenare în masă a aluviunilor de fund. Aprecierea stabilității albiei se poate face și prin compararea eforturilor de antrenare;

- vitezele scăzute, corespunzătoare epelor mici asigură transportul debitului solid care sosește din amonte sau dacă depunerile produse pot fi spălate de debitele mari (la albiile cu evoluție periodică).

Totodată este necesar să se analizeze și posibilitatea realizării unei secțiuni optime din punct de vedere hidraulic (secțiune de minimă rezistență), pentru care perimetrul udat este minim, iar raza hidraulică are valoarea maximă, deci și viteza este maximă. Secțiunea respectivă la aceeași suprafață și aceeași pantă permite să se obțină o capacitate de transport maximă. Această verificare este deosebit de utilă la canalele de străpungere sau la canalele de derivație.

Rezultatele observațiilor au pus în evidență faptul că variația raportului dintre lățimea și adâncimea medie a albiei ( $B/h$ ) în raport cu debitul de formare se datorează repartiției neuniforme a forței de frecare, respectiv a forței de antrenare a aluviunilor pe perimetrul udat și se exprimă printr-o relație de tipul:

$$Bh^{1/m} = cQ$$

Relațiile morfometrice rezultate pentru dimensionare, după S. Hâncu au următoarele expresii:

$$\begin{aligned} h &\approx Q^{0,4} ; B \approx Q^{0,5} ; v \approx Q^{0,1} \text{ pentru } m = 1/4 \\ \text{și } h &\approx Q^{0,375} ; B \approx Q^{0,562} ; v \approx Q^{0,00625} \text{ pentru } m = 1/6 \end{aligned}$$

Forma secțiunilor transversale a albiilor râurilor prezintă variații mari de la un sector la altul.

În coturi secțiunea transversală a albiei se deformează, adâncimea medie crește, iar adâncimea maximă se realizează lângă malul concav (fig. 23).



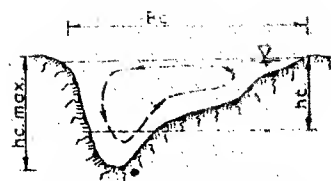


Fig. 23. Secțiunea transversală în cotul.

unde:

r - raza de curbă;

 $\sigma$  - coeficient morfometric (tabelul 11)

Între adâncimea maximă în coturi  $h_{c \max}$  și adâncimea medie în aliniament se poate admite o relație de proporționalitate de tipul:

$$h_{c \max} = C_a \cdot h$$

unde  $C_a$  se ia din tabelul 11.VALORILE COEFICIENȚILOR  $\sigma$  și  $C_a$  după ALTUNIN

r/B	6	5	4	3	2	1,5
$\sigma$	0,6	0,6	0,65	0,75	0,85	2,0
$C_a$	1,48	1,84	2,2	2,57	3,0	-

Totodată, pe baza cercetărilor efectuate, a rezultat că între aria secțiunii de curgere în aliniament ( $\omega$ ) există o relație morfometrică simplă de forma  $\omega = \omega_c$  explicabilă prin aceea că, în coturi lățimea albiei este mai mică decât în aliniament.

Trebuie menționat însă că optimul hidraulic nu înseamnă și optimul economic, astfel că la dimensionare trebuie să se țină seama de ambele aspecte și să se caute soluția optimă din punct de vedere tehnico - economic.

## 5. PROIECTAREA DIGURILOR

Ori de câte ori se realizează amenajarea în complex a albiei unui râu, traseul digurilor trebuie corelat cu cel al albiei minore regularizate. În ansamblu, secțiunea totală de curgere trebuie să asigure curgerea lină a apelor mari, fără vârtejuri, fără zone care pot favoriza aglomerarea de plutitori sau a stoiurilor de gheață. În general, traseul digurilor trebuie să fie mai puțin sinuos decât traseul albiei minore, având în vedere că la ape mari, axul dinamic al curgerii în albia majoră diferă de cel al curgerii în albia minoră. În unele cazuri se prevede amenajarea numai a albiei majore prin realizarea de diguri de apărare împotriva inundațiilor. Albia minoră se menține în situația existentă sau se prevăd numai lucrări minime de tip conservativ cum ar fi, apărări de mal, tăieri locale de meandre.

$$\sigma = 0,8 \quad B = 64 \rightarrow bB = 8$$

$$r = 110$$

## 5.1. TRASEUL DIGURILOR

Stabilirea traseului unui dig comportă analizarea și compararea a trei criterii de bază: hidraulic, geotehnic și economic. Satisfacerea simultană a acestor criterii nu este posibilă, între ele existând cerințe contradictorii.

Din punct de vedere hidraulic este de preferat un traseu mai îndepărtat de elbia minoră, cea ce determină o dezastruare mai redusă și reducerea înălțimii digurilor de apărare. În schimb, îndepărtarea digurilor, duce la micșorarea suprafeței apărute și la creșterea investiției specifice și în unele cazuri o astfel de soluție conduce la întâlnirea unor terenuri cu structură geotehnică defavorabilă pentru fundarea digurilor. Proiectarea judicioasă a traseului digului constă tocmai în îmbinarea armonioasă a acestor criterii de bază.

Distanța între diguri, în cazul când îndiguirea se prevede pe ambele maluri, sau între dig și albia minoră (lățimea zonei dig - mal) în situațiile în care nu este necesară decât apărarea terenurilor de pe un singur mal, se stabilește printr-o analiză tehnico - economică bazată pe următoarele criterii principale:

- supraînălțarea nivelurilor și creșterea vitezelor, față de regimul natural să nu conducă la soluții nesigure și costisitoare. În general, se recomandă o supraînălțare maximă admisibilă de nivel de 0,5 m la cursurile de apă cu pante  $i > 0,5 \%$  și de 0,8 - 1,0 m la cursurile de apă cu pante  $i < 0,5 \%$ ;
- în zonele cu eroziune activă a malului albiei minore, în cazul când nu se justifică realizarea unor lucrări de protecție a malului sau de combatere a fenomenului de eroziune, distanța între dig și mal trebuie să fie suficientă pentru ca avansarea eroziunii pe o perioadă de 5 ani să nu afecteze siguranța digului;
- lățimea dig - mal trebuie să permită amplasarea gropilor de împrumut (când digul nu se realizează cu pământ din albia minoră) și, dacă este cazul, a perdelelor de protecție forestieră;
- digul de apărare trebuie să scoată de sub efectul inundațiilor o suprafață de teren cât mai mare posibilă.

Pentru distanța de amplasare a digurilor față de malul albiei minore nu pot fi date valori precise. Stabilirea acestora rezultă numai în urma unor calcule tehnico - economice care analizează și compară toate elementele caracteristice.

Orientativ, din practica actuală, pot fi avute în vedere următoarele distanțe medii:

- 150 - 300 m pentru fluviul Dunărea;
- 50 - 100 m pentru cursurile mari de apă (Olt, Siret, Ialomița, etc.);
- 20 - 50 m pentru cursurile mijlocii (Crișuri, Vedea, Bîrlad, etc.);
- 10 - 20 m pentru cursurile mici de apă (Călmățui, Cricov, Neajlov, etc.)

Se va evita pe cât posibil o distanță dig - mal sub 10 m, chiar la cursurile de apă cele mai mici cât și realizarea unei secțiuni mici de curgere prin amplasarea digurilor chiar pe malul albiei minore.

Încorsetarea puternică a albiei minore provoacă o dezastruare mare a debitelor naturale de viitură, cea ce duce la mărirea înălțimii digurilor, deci a volumelor de lucrări. Odată cu aceasta, prin sporul de viteză ce se realizează apare și necesitatea unor lucrări pentru protecția malurilor, și chiar a taluzurilor digurilor, cea ce determină creșterea apreciazabilă a investiției.

Realizarea unor diguri situate în imediata apropiere a malurilor, sau chiar pe mal, nu se justifică decât în anumite situații obligate ca, existența unor obiective economice importante.

În luncile inundabile unde există terenuri împădunite, este de preferat menținerea acestora în regim natural de inundare, ocolindu-se cu digul, masivul respectiv, soluție care duce la reducerea dezetenuării, terenurile respective constituind zone de destindere a viiturii.

Traseul digurilor longitudinale de apărare se racordează, amonte și aval, la terenurile înalte neinundabile, sau la alte amenajări existente (rambleu de șosea, CF, etc). Această racordare se verifică îndeosebi pentru zona din amonte, ca să nu fie realizată doar local, existând în acest caz pericolul inundării terenurilor epărate prin ocolirea prin spate a digului.

Un caz particular al digurilor longitudinale îl constituie digurile deschise care se racordează cu terenul înalt numai la extremitatea din amonte, apele putând pătrunde prin aval, fără a afecta însă terenul ce trebuie apărat. Se utilizează atunci când executarea unui dig transversal de închidere prezintă dificultăți de ordin constructiv sau economic, iar panta longitudinală a cursului de apă este suficient de mare pentru ca zona din amonte să nu fie inundată.

În situația când în zona apărată cursul principal are o serie de afluenți, ce nu pot fi rezolvați prin altă soluție (devieri, subtraversări, etc.) digurile longitudinale se prelungesc pe afluenți cu diguri de remu până la limita de influență a acestora. Racordarea digurilor longitudinale cu cele de remu trebuie să asigure stabilitatea albiilor minore în zona de confluență, raza de racordare a celor două diguri admițându-se.

- de 5 ori lățimea albiei minore a cursului de apă principal, în cazul în care digul nu este solicitat de ghețuri;

- de 10 - 20 ori lățimea albiei minore a cursului de apă principal, în cazul în care digul este solicitat de ghețuri.

Nu se recomandă raze de curbă mai mici de 50 m, indiferent de mărimea cursului de apă, decât în situații obligate, situații în care trebuie avute în vedere lucrări suplimentare de consolidare.

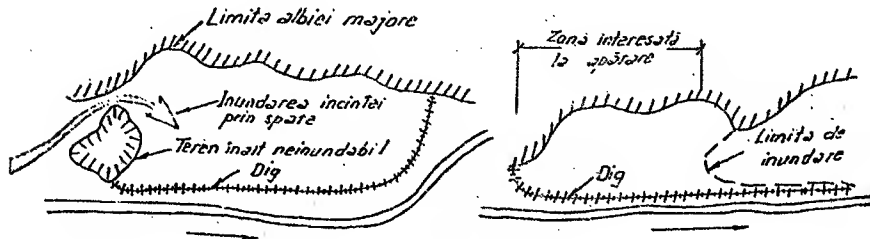


Fig. 24. Traseul digurilor

## 5.2. PROFILUL LONGITUDINAL AL DIGURILOR

Profilul longitudinal al digurilor trebuie să conțină cotele coronamentului, respectiv înălțimea digului deasupra terenului, pe toată lungimea, urmărind traseul proiectat.

Elementele caracteristice ale profilului longitudinal sunt prezentate în fig. 16. De regulă, se prezintă un singur profil longitudinal al albiei amenajate (minore și majore).

În situațiile în care digul este amplasat la o distanță mai mare de mal, sau traseul lui diferă mult de traseul albiei minore, se prezintă separat profilul longitudinal al digului, pentru o determinare corectă atât a lungimii cât și a cotelor de teren, respectiv al înălțimilor.

## 5.3. COTA CORONAMENTULUI DIGURILOR

Cota coronamentului (de proiectare) se determină pe baza a două criterii:

- în funcție de nivelul maxim de calcul;
- în funcție de nivelul maxim de verificare.

Relațiile de calcul sunt următoarele:

$$H = h_c + 0,5 h + h_d + h_s + h_b$$

$$H = h_v + h_s + h_b$$

unde:

- $H$  - cota coronamentului digului (m);
- $h_c$  - cota nivelului maxim de calcul (m);
- $h_v$  - cota nivelului maxim de verificare (m);
- $h$  - înălțimea de calcul a valului (m);
- $h_d$  - înălțimea de deferlare a valului pe taluz (m);
- $h_s$  - înălțimea de siguranță (m);
- $h_b$  - înălțimea bombamentului în axul coronamentului (m);

Se determină cota digurilor cu ambele relații, adoptându-se valoarea cea mai mare.

Asupra elementelor din aceste relații se fac următoarele precizări:

### 5.3.1. ÎNĂLȚIMEA DE SIGURANȚĂ ( $h_s$ )

Reprezintă un spor de înălțime peste nivelurile calculate pentru ca digul să nu fie deversat, având valorile:

0,20 - 0,60 m peste nivelul maxim de calcul ( $h_c$ );

0,10 - 0,30 m peste nivelul maxim de verificare ( $h_v$ ).

Valorile maxime se adoptă atunci când datele hidrologice disponibile sunt insuficiente și la lucrări de importanță deosebită. Pentru digurile din clase de importanță IV și V, se poate renunța la sporul de siguranță aplicat la nivelul maxim de verificare.

### 5.3.2. ÎNĂLȚIMEA DE DEFERLARE A VALULUI ( $h$ )

Se ia în considerare numai în cazurile în care durata nivelurilor de calcul ( $h_c$ ), peste cota de depășire a malurilor, este mai mare de 12 ore.

Înălțimea valului poate fi determinată cu ajutorul monogramelor Braslavschi sau cu relația:

$$h = 0,0186 \cdot w^{0,71} \cdot D^{0,24} \cdot h_a^{0,54}$$

unde:

$w$  - viteza vântului în km/oră;

$D$  - lungimea luciului de apă pe direcția vântului în km;

$h_a$  - adâncimea apei la nivelul de calcul.

Intensitatea de calcul a vânturilor se adoptă după cum urmează:

2 % pentru digurile de clasa I și II de importanță;

4 % pentru digurile de clasa III și IV de importanță;

10 % pentru digurile de clasa V de importanță, precum și pentru cele transversale de compartimentare.

### 5.3.3. ÎNĂLȚIMEA TOTALĂ A VALULUI ( $h_t = 0,5 h + h_d$ )

Ținând seama de deferirea valului pe taluz, înălțimea totală ( $h_t$ ) se determină cu relația (fig. 19):

$$h_t = 3,2(2h)tg\alpha \cdot k$$

unde:

- $h$  - înălțimea valului;
- $\alpha$  - unghiul de înclinare a taluzului;
- $k$  - coeficient în funcție de rugozitatea taluzului cu valorile:
  - 1,0 - 1,25 pentru taluzul protejat cu plăci de beton;
  - 0,9 - 1,0 pentru taluz de pământ;
  - 0,8 - 0,9 pentru taluz protejat cu pereu din piatră;
  - 0,77 - 0,8 pentru taluz protejat cu anrocamente.

Pentru digurile din clasa de importanță IV și V cu excepția celor de la Dunăre, pe râurile nenevigate și unde distanța între diguri este mai mică de 0,5 km, se poate renunța la calculul înălțimii valurilor.

Ținând seama și de cele arătate cu privire la sporul de siguranță rezultă că pentru aceste diguri se pot admite următoarele relații de calcul a cotei coronamentului:

$$H = h_c + h_s$$

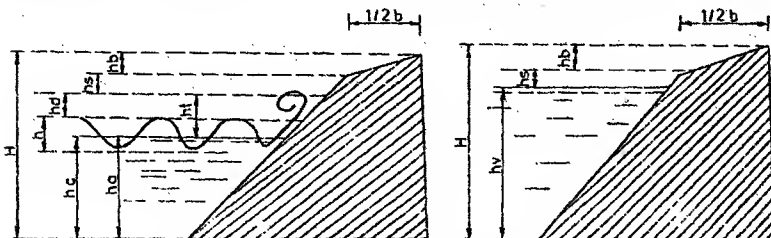
$$H = h_v$$

adoptându-se dintre cele două valori valoarea cea mai mare. În asemenea situații reprezintă garda digului având valorile:

- 0,8 - 0,9 m pentru cursurile mari de apă;
- 0,6 - 0,7 m pentru cursurile mijlocii;
- 0,4 - 0,5 m pentru cursurile mici.

### 5.3.4. COTA DE EXECUȚIE A CORONAMENTULUI DIGULUI ( $H$ )

Cota de execuție se determină adăugându-se la cota de proiectare ( $H$ ), înălțimea tasării umpluturii de pământ din corpul digului și fundația acestuia. Tasarea umpluturii de pământ se compune dintr-o *tasare de moment*, provocată de utilajele de



În funcție de nivelul maxim de calcul

În funcție de nivelul maxim de verificare

$h_c$  - nivel maxim de calcul;  $h_v$  - nivel maxim de verificare;  $h$  - înălțimea de calcul a valului;  $h_d$  - înălțimea de deferire a valului;  $h_s$  - înălțimea de siguranță;  $h_b$  - înălțimea bombamentului;  $h_t$  - înălțimea totală a valului;

Fig. 25. Cota coronamentului digurilor ( $H$ )

compactare și o *tasare progresivă în timp (remanentă)*, provocată de greutatea masei de pământ. Sporul de înălțime pentru tasarea rambleului digului reprezintă de fapt diferența între gradul de compactare a materialului în carieră și cel realizat în corpul digului. În general, în funcție de caracteristicile geotehnice ale materialului, înălțimea rambleului și modul de compactare tasarea digului variază între 2 % - 5 % din înălțimea ( $H$ ).

Tasarea fundației digului este cu atât mai mare cu cât sarcina unitară este mai mare și cu cât terenul de fundație are în situația inițială un coeficient de porozitate mai mare. Tasarea terenului de fundație se determină conform prescripțiilor STAS 3300/71, și variază în medie între 3 % - 6 % din înălțimea digului.

### 5.4. SECȚIUNEA DIGURILOR

Profilul transversal al digurilor este determinat de lățimea la coronament și înclinarea taluzelor.

#### 5.4.1. LĂȚIMEA CORONAMENTULUI ( $b$ )

Dacă lățimea la coronament a digului nu este impusă de condiții de stabilitate, se determină în funcție de necesitățile de circulație ale vehiculelor și utilajelor folosite la exploatarea și întreținerea digului. În practică se admit următoarele dimensiuni:

5 - 6 m pentru digurile de la Dunăre

3 - 4 m pentru digurile râurilor interioare.

În mod excepțional, în cazul în care digurile au o înălțime ce nu depășește 3 m și apără suprafețe reduse de teren, sau obiective de clasa V de importanță, se admite ca limită minimă pentru lățimea la coronament valoarea de 4 m pentru digurile de la Dunăre și 2 m pentru cele de la râurile interioare. În cazul în care se prevede ca digurile să fie folosite și ca drum public, sau de exploatare agricolă, lățimea la coronament a acestora va fi impusă de necesitățile de circulație, fără a fi însă inferioară valorilor de mai sus.

#### 5.4.2. ÎNCLINAREA TALUZURILOR

Înclinarea taluzurilor digurilor se stabilește în funcție de caracteristicile geotehnice ale pământului, durata viuturii, înălțimea digului. De regulă, se adoptă pentru taluzurile dinspre apă (exterioare) înclinarea de 1:3 și pentru taluzurile dinspre uscat (interioare) înclinarea de 1:2. Orientativ, în tabelul de mai jos se prezintă înclinările uzuale ale taluzurilor.

Tabelul 12.

Categoria de pământ	Înălțimea digului ( $H$ )	Taluzul exterior	Taluzul interior
Nisipuri și prafuri	2 m	1:3	1:2 sau 1:3
Nisipuri argiloase și prafuri argilo-nisipoase	2 m	1:3	1:2 sau 1:3
Luturi (prafuri argiloase)	2 m	1:2,5 sau 1:3	1:2
Argile grase și prăfoase	2 m	1:2 sau 1:2,5	1:2
Măluri	2 m	1:3 sau 1:4	1:3 sau 1:4

### 5.5 CALCULUL STABILITĂȚII DIGULUI

Problema stabilității unui masiv de pământ limitat de plane înclinate față de orizontală, având o înălțime finită  $h$ , se încadrează în problema generală a echilibrului limitat a maselor de pământ.

Prin calcule de stabilitate ale unui masiv de pământ delimitat de o suprafață înclinată plană sau frântă, solicitat de niște încărcări date, se determină coeficientul de siguranță la rupere pe care-l prezintă taluzul proiectat. Definiția acestui coeficient de siguranță variază în funcție de metoda aplicată pentru determinarea sa. În principiu, acesta se exprimă ca un raport al factorilor care acționează pentru producerea rupei față de cei care asigură stabilitatea. Rezistența pământului este caracterizată prin valorile  $c$  și  $\Phi$ , parametrii dreptei intrinseci. Față de importanța pe care aceste valori o au în determinarea corectă a coeficientului de siguranță, este necesar ca ele să fie alese după criterii care să reprezinte just condițiile reale din diferite puncte ale masivului în momentul rupei. În general se folosesc următoarele metode de calcul:

a) *Determinarea stării de eforturi limită* în cazul de echilibru limită după Rankine pentru un masiv semiinfini limitat de o suprafață înclinată. Aceste probleme se rezolvă cu ajutorul cercului lui Mohr.

b) *Rezolvarea ecuațiilor diferențiale ale echilibrului limită* prin diferențe finite.

c) *Suprafețe de alunecare circular - cilindrice împărțite în fișii elementare* (metoda Fellenius)

Pentru un masiv care se presupune că alunecă pe o suprafață circular - cilindrică având raza  $R$  și centrul în  $O$ , cu unghiul la centru  $\alpha_0$ , coeficientul de siguranță  $n_s$  se determină cu relația:

$$n_s = \frac{\sum_{i=1}^n N_i \tan \Phi + \sum_{i=1}^n l_i c_i}{\sum_{i=1}^n T_i} = \frac{\sum G_i \cos \alpha_i \tan \Phi + \sum c_i l_i}{\sum G_i \sin \alpha_i} \quad (5.5.1)$$

$\alpha_i$  fiind unghiurile între verticală și normală.

Deoarece la însumarea fișilor se neglijează forțele care acționează pe suprafețele verticale de separație ale acestora, se folosesc uneori formule care corectează aceste simplificări.

Construcția grafică se execută în felul următor: se trasează mai multe cercuri de alunecare și se calculează  $n_s$  după expresia (5.5.1) pentru fiecare, până se obține o valoare minimă pentru  $n_s$ .

Se consideră taluzul stabil când  $n_{s \min} > 1$ . În vederea reducerii numărului de cercuri, se folosește următoarea regulă empirică arătată în fig. 26: centrele celor mai nefavorabile cercuri de alunecare se găsesc pe dreapta  $MO$ , fixată de două puncte, și anume:  $M$  (cu coordonatele  $1,5h$  și  $2h$ ) și  $O$  (la intersecția laturilor unghiurilor  $\beta_1$  și  $\beta_2$  date de Fellenius funcție de taluzurile digului).

1:m	1:1	1:1,5	1:2	1:3	1:5
$\beta_1$	28°	26°	25°	25°	25°
$\beta_2$	37°	35°	35°	35°	37°
$\beta$	45°	33° 45'	26° 34'	18° 25'	11° 19'

### EXEMPLU DE CALCUL

Se consideră un dig a cărui taluz exterior are înclinarea  $m = 3$ . Din tabelul de sus rezultă că unghiurile sunt  $\beta_1 = 25^\circ$  iar  $\beta_2 = 35^\circ$ .

Din studiile geotehnice rezultă proprietățile fizico-mecanice ale pământurilor folosite la construcția digului ca fiind:

- argilă nisipoasă
- greutatea volumetrică  $\gamma_p = 18 - 19 \text{ kN/m}^3$
- unghiul de frecare interioară  $\Phi = 15^\circ - 20^\circ$
- indicele porilor  $e = 0,82$
- porozitatea  $n = 45\%$
- coeziunea pământului  $c = 0,3 - 0,5 \text{ daN/cm}^2$
- coeficientul de permeabilitate  $k = 10^{-6} - 10^{-7} \text{ cm/s}$

Calculul se pot urmări în tabelele anexate, iar schemele de calcul în figurile 27, 28 și 29.

Calculul coeficientului de stabilitate  $n_s$  prin metoda Fellenius

nr. fâșie	$h_i$ (m)	$b_i$ (m)	$V_i$ (m <sup>3</sup> )	$\gamma_p$ (kN/m <sup>3</sup> )	$G_i$ (kN)	$\alpha_i^0$ stg.	$\alpha_i^0$ dr.	$\cos \alpha_i$	$N_i$ (kN)	$\sin \alpha_i$	$T_i$ (kN)
1	0,5	1,4	0,7	18,5	12,9	-	41	0,75	9,77	0,66	8,49
2	1,0	1,0	1,0	18,5	18,5	-	35	0,82	15,2	0,57	10,6
3	1,3	1,0	1,3	18,5	24,0	-	30	0,86	20,8	0,50	12,0
4	1,5	1,0	1,5	18,5	27,7	-	25	0,91	25,1	0,42	11,7
5	1,6	1,0	1,6	18,5	29,6	-	20	0,94	27,8	0,34	10,1
6	1,5	1,0	1,5	18,5	27,7	-	15	0,96	26,8	0,26	7,18
7	1,4	1,0	1,4	18,5	25,9	-	11	0,98	25,4	0,19	4,95
8	1,2	1,0	1,2	18,5	22,2	-	6	0,99	22,1	0,10	2,32
9	0,9	1,0	0,9	18,5	16,6	-	2	0,99	16,6	0,04	0,58
10	0,6	1,0	0,6	18,5	11,1	3	-	0,99	11,1	-0,05	-0,58
11	0,2	1,0	0,2	18,5	3,7	7	-	0,99	3,67	-0,12	-0,45
$\Sigma n_i$									204		44,3

Calculul din tabel s-au efectuat pentru următoarele date:

Centrul cercului este  $O_1$ ;  $R_1 = 13 \text{ m}$  - raza cercului de alunecare;  $c = 0,4 \text{ daN/cm}^2$  - coeziunea pământului;  $\Phi = 18^\circ$  - unghiul de frecare,  $\tan \Phi = 0,32$ ;  $\theta = 55^\circ$  unghiul la centru al cercului de alunecare;  $L = 12,44 \text{ m}$  - lungimea cercului de alunecare și s-a obținut pentru coeficientul de siguranță valoarea  $n_s = 1,6$  (fig. 27).

Se consideră un alt cerc de alunecare cu centrul în  $O_2$ , de rază  $R = 10,4 \text{ m}$ , cu unghiul la centru  $\theta = 112^\circ$ .

Calculul s-au efectuat în tabelul următor folosind aceeași metodă

nr. fâșie	$h_i$ (m)	$b_i$ (m)	$V_i$ (m <sup>3</sup> )	$\gamma_p$ (kN)	$G_i$ (kN)	$\alpha_i^0$ stg	$\alpha_i^0$ dr.	$\cos \alpha_i$	$N_i$ (kN)	$\sin \alpha_i$	$T_i$ (kN)
1	0,8	0,8	0,8	18,5	14,8	-	63	0,454	6,718	0,891	13,90
2	2,6	1,0	2,6	18,5	48,1	-	53	0,602	10,89	0,799	14,46
3	3,8	1,0	3,8	18,5	70,3	-	45	0,707	49,86	0,707	49,71
4	4,6	1,0	4,6	18,5	85,1	-	38	0,788	67,06	0,616	52,42
5	5,4	1,0	5,4	18,5	99,9	-	31	0,857	85,63	0,515	51,45
6	5,8	1,0	5,8	18,5	107,3	-	25	0,819	87,90	0,423	45,39
7	5,9	1,0	5,9	18,5	109,1	-	19	0,946	103,3	0,326	35,58
8	5,8	1,0	5,8	18,5	107,3	-	13	0,976	104,5	0,225	24,14
9	5,6	1,0	5,6	18,5	103,6	-	7	0,992	102,8	0,122	12,64
10	5,3	1,0	5,3	18,5	98,1	-	2	0,999	98,04	0,035	3,42
11	5,0	1,0	5,0	18,5	92,50	4	-	0,998	92,32	-0,069	-6,46
12	4,5	1,0	4,5	18,5	83,30	9	-	0,987	82,28	-0,156	-13,03
13	4,0	1,0	4,0	18,5	74,0	15	-	0,966	71,48	-0,259	-19,17
14	3,3	1,0	3,3	18,5	61,10	21	-	0,933	57,04	-0,358	-21,89
15	2,5	1,0	2,5	18,5	46,30	27	-	0,891	41,25	-0,454	-21,02
16	1,6	1,0	1,6	18,5	29,60	33	-	0,839	24,83	-0,545	-16,13
17	0,6	1,0	0,6	18,5	11,10	40	-	0,766	8,50	-0,643	-7,14
$\Sigma n_i$									1094,6		259,87

Coeficientul de siguranță  $n_s = 1,4$  (fig. 28)

Considerăm un nou cerc de alunecare cu centrul cercului în  $O_3$ , de rază  $R = 10,4$  m și unghi la centru de  $\theta = 141^\circ$ , iar calculele aferente se găsesc în următorul tabel.

nr. fâșie	$h_i$ (m)	$b_i$ (m)	$V_i$ (m <sup>3</sup> )	$\gamma_p$ (kN)	$G_i$ (kN)	$\alpha_i^0$ stg	$\alpha_i^0$ dr.	$\cos \alpha_i$	$N_i$ (kN)	$\sin \alpha_i$	$T_i$ (kN)
1	1,0	1,0	1,0	18,5	18,5	-	74	0,276	5,098	0,961	17,78
2	3,1	1,0	3,1	18,5	57,4	-	60	0,500	28,70	0,866	49,71
3	4,6	1,0	4,6	18,5	85,1	-	50	0,643	54,70	0,766	65,18
4	5,6	1,0	5,6	18,5	103,6	-	43	0,731	75,77	0,682	70,65
5	6,5	1,0	6,5	18,5	120,3	-	35	0,819	98,53	0,574	69,00
6	7,1	1,0	7,1	18,5	131,4	-	29	0,875	114,9	0,485	63,50
7	7,5	1,0	7,5	18,5	138,8	-	23	0,92	127,7	0,391	54,23
8	7,7	1,0	7,7	18,5	142,5	-	17	0,956	136,2	0,292	41,67
9	7,6	1,0	7,6	18,5	140,6	-	11	0,982	138,1	0,191	26,82
10	7,4	1,0	7,4	18,5	136,9	-	5	0,996	136,4	0,087	11,92
11	7,2	1,0	7,2	18,5	133,2	-	-	-	133,2	-	-
12	6,8	1,0	6,8	18,5	125,8	6	-	0,994	125,1	-0,105	-13,14
13	6,2	1,0	6,2	18,5	114,7	11	-	0,982	112,6	-0,191	-21,89
14	5,7	1,0	5,7	18,5	105,5	17	-	0,956	100,9	-0,292	-30,85
15	5,0	1,0	5,0	18,5	92,5	23	-	0,92	85,10	-0,391	-36,15
16	4,2	1,0	4,2	18,5	77,7	29	-	0,875	67,96	-0,485	-37,67
17	3,2	1,0	3,2	18,5	59,2	36	-	0,809	47,48	-0,588	-34,80

18	2,0	1,0	2,0	18,5	37,0	43	-	0,731	27,06	-0,682	-25,23
	0,7	1,0	0,7	18,5	12,9	51	-	0,629	8,12	0,777	-10,02
									1623,7		260,7

coeficientul de siguranță  $n_s = 2,06$ , (fig. 29) Pentru ca taluzul digului să fie stabil la care trebuie ca valoarea minimă a coeficientului de stabilitate, să fie de 1,1 - 1,3

În cazul unui teren de fundație rezistent, pentru digurile cu înălțime până la 6 m, aria taluzurilor poate fi calculată cu relația simplificată Maslov:

$$\text{tg} \varphi - \text{tg} \beta + \frac{C}{\gamma H}$$

unde

$\beta$  - înclinarea taluzului în grade;

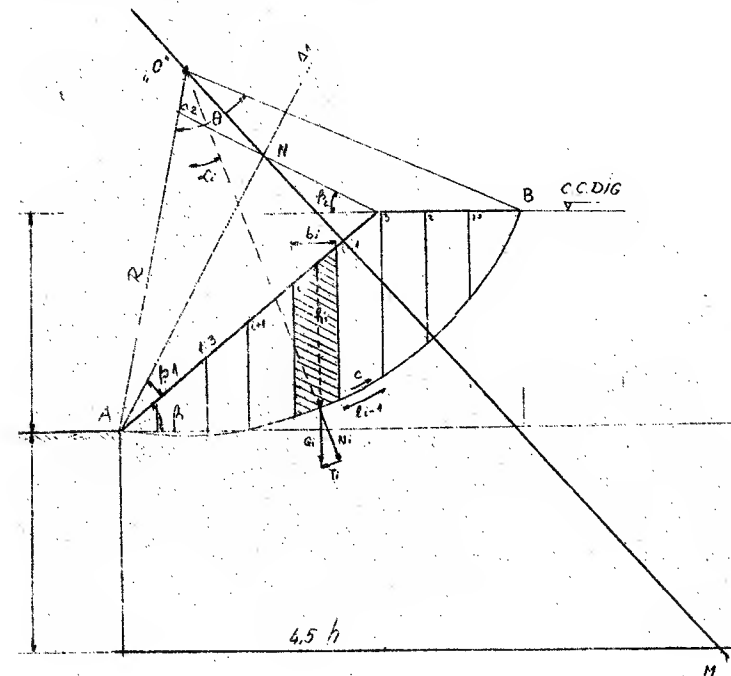
$\varphi$  - unghiul de frecare interioară în grade;

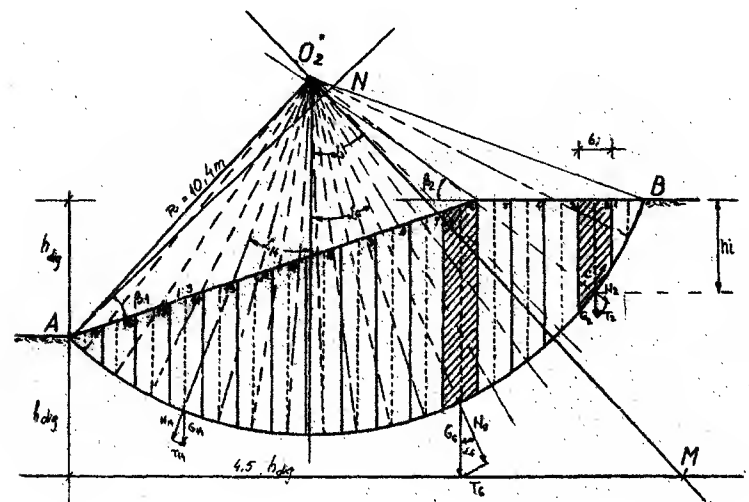
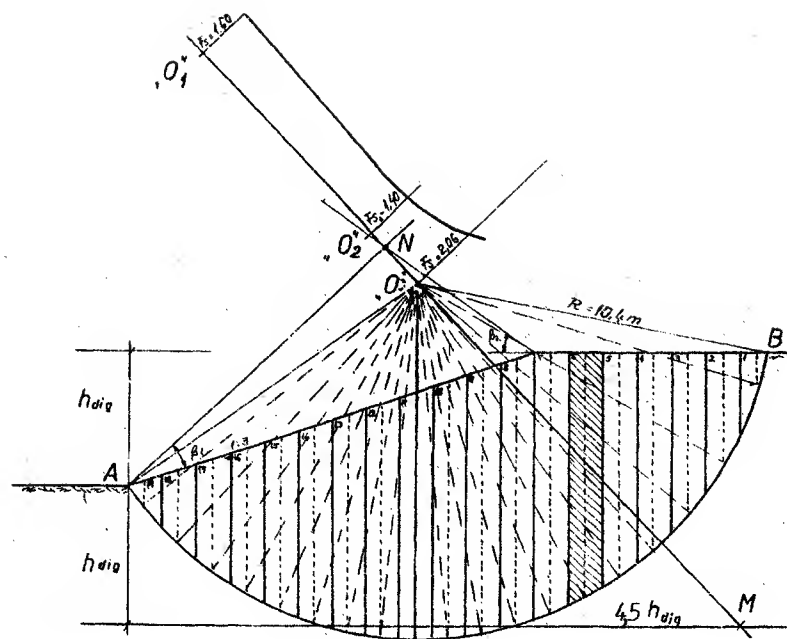
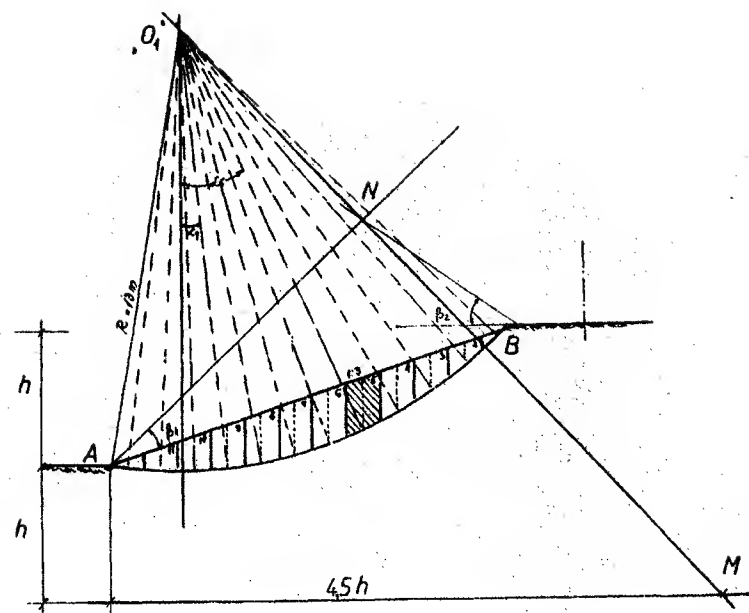
$C$  - coeficientul de coeziune al pământului în  $\text{tf/m}^2$ ;

$\gamma$  - greutatea specifică a pământului în  $\text{tf/m}^3$ ;

$H$  - înălțimea digului în m.

Se va avea în vedere acțiunea hidrodinamică a apei de infiltrație, în care scop aria unghiului de frecare interioară se micșorează cu raportul  $\gamma_1 / \gamma$ , în care  $\gamma_1$  este greutatea apei.





## 5.6. CALCULUL CURBEI DE INFILTRAȚIE ȘI A DEBITULUI INFILTRAT PRIN CORPUL DIGURILOR

Calculul de infiltrații la baraje și diguri se efectuează cu scopul stabilirii elementelor necesare rezolvării a trei categorii de probleme:

- verificarea stabilității berajelor și digurilor, prin luarea în considerare, printre altele, a forțelor de infiltrație, a presiunilor și subpresiunilor care acționează pe diferite elemente de construcții;
- determinarea suprafeței libere a apei de infiltrație la baraje de pământ, cu scopul verificării poziției acesteia față de adâncimea de îngheț și stabilirii parametrilor de care se ține seama la calculul stabilității taluzelor;
- determinarea debitelor infiltrate, cu scopul stabilirii bilanțului hidrologic și hidrogeologic, al prognozei nivelului apei subterane.

Spre deosebire de baraje, digurile de apărare împotriva inundațiilor se așează în imediata vecinătate a malului, iar terenul este alcătuit dintr-un strat foarte permeabil la adâncime și un altul la suprafață puțin permeabil.

Problema principală, care se pune la calculul infiltrațiilor, este stabilirea subpresiunilor la piciorul interior al digurilor, a căror mărime condiționează în mare măsură stabilitatea digurilor la infiltrații.

Filtrația apei prin dig are ca limită superioară curba de depresie. Normativele actuale de dimensionare a digurilor admit existența unei zone de izvorâre la piciorul taluzului interior, cu înălțimea maximă de  $(0,10 - 0,15)H$ , unde  $H$  este înălțimea apei care solicită digul.

Pentru calculul curbei de infiltrație prin corpul digurilor se utilizează relațiile cunoscute în literatură cum sunt metoda fragmentelor sau Pavlovski, metode Casagrande - Kozeny, metoda Numerov, etc.

Dintre toate acestea s-a preferat metoda Casagrande - Kozeny care este mai simplă și cu rezultate mai apropiate de realitate. Comparativ s-au efectuat calculele, pentru același dig și prin metoda Pavlovski.

### 5.6.1. METODA CASAGRANDE - KOZENY

Casagrande admite că mișcarea apei prin dig respectă legea lui Darcy, debitul calculându-se cu relația:

$$q = ky \frac{dy}{dx}$$

iar, curba de infiltrație este dată de ecuația unei parabole de forma:

$$(x + a)^2 = x^2 + y^2$$

Parabola intersectează planul de apă din amonte în punctul M, care se găsește la distanța egală cu lungimea segmentului  $MN = 0,3 S$ , unde  $S = mH$ , iar taluzul aval în punctul A. Din condiția ca acest punct să verifice ecuația parabolei se determină parametrul curbei  $a$ :

$$a = \sqrt{h_c^2 + d^2} - d$$

unde s-au folosit următoarele notații:

- $m = \tan \alpha_1$ , înclinarea taluzului amonte;
- $d = B - 0,7 S$ ,

B - ampriza digului;

$h_c$  - înălțimea de izvorâre

În zona amonte parabola se racordează în punctul N, printr-o curbă de tranziție normală la taluz. În zona aval punctul de ieșire a apei pe taluz (D) se situează mai jos decât punctul de intersecție al parabolei (A). Acest punct se determină cu ajutorul ecuației parabolei în coordonate polare, cu originea în focarul O și cu raza polară:

$$\rho = \frac{e}{1 - \cos \alpha} = \Delta l + l$$

Veloarea pentru raza polară se determină cu ajutorul graficului Casagrande (fig 31)

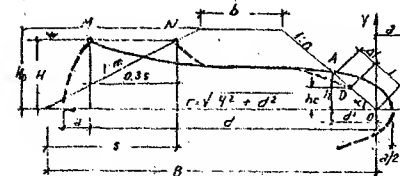


Fig. 30. Schema de calcul

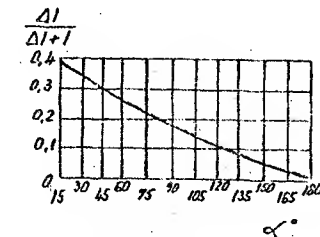
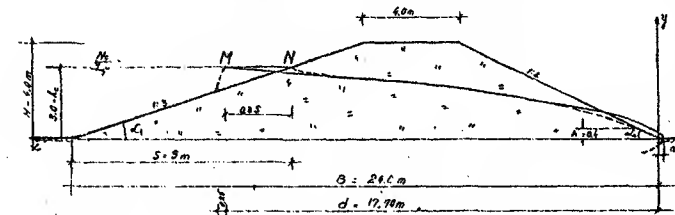


Fig. 31. Graficul Casagrande ( $\alpha$  = unghiul taluzului aval)

### EXEMPLU DE CALCUL

Se consideră secțiunea transversală printr-un dig prezentată mai jos, având lățimea la coronament  $b = 4$  m, ampriza  $B = 24$  m, înclinarea taluzului amonte  $1:m = 1:3$ , înclinarea taluzului aval  $1:n = 1:2$ , înălțimea digului  $H_0 = 4$  m, nivelul apei la debitul de calcul  $H = 3$  m,  $\alpha = 26^\circ 39'$ ,  $S = mH = 9$  m,  $d = B - 0,7 S = 17,7$  m.



Parametrul curbei  $a = \sqrt{3^2 + 17,7^2} - 17,7 = 0,252$  m și ecuația parabolei devine:

$$(x + 0,252)^2 = x^2 + y^2$$

$$x^2 + 0,5x + 0,0625 = x^2 + y^2$$

$$y^2 = 0.5x + 0.0625$$

$$y = \sqrt{0.5x + 0.0625}$$

Trasarea curbei de infiltrație

x (m)	2	3	4	5	10	17.7
y (m)	1.03	1.24	1.43	1.60	2.25	3.0

$$\rho = \frac{0.25}{1 - \cos 26^\circ 30'} = 2.38, \text{ din graficul Casagrande pentru } \alpha = 26^\circ 30' \text{ se obține}$$

$$\frac{\Delta l}{\Delta l + l} = 0.36, \text{ deci } \Delta l / 2.38 = 0.36 \text{ de unde rezultă că } \Delta l = 0.86 \text{ m, iar } l = 1.52 \text{ m.}$$

Se obține pentru  $h_c = l \sin \alpha = 1.52 \cdot 0.263 = 0.40 \text{ m}$ , iar  $h = (\Delta l + l) \sin \alpha = 0.655 \text{ m}$

$$h_c = 0.4 \text{ m} < 0.15 H = 0.45 \text{ m}$$

ceea ce verifică condiția de stabilitate a taluzului aval.

Debitul infiltrat prin dig va fi

$$q = k h_c = 10^{-5} \cdot 0.4 = 4 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 / \text{s m}$$

### 5.6.2. METODA PAVLOVSKI

Metoda constă în a împărți secțiunea transversală a digului în fragmente conform fig. 32.

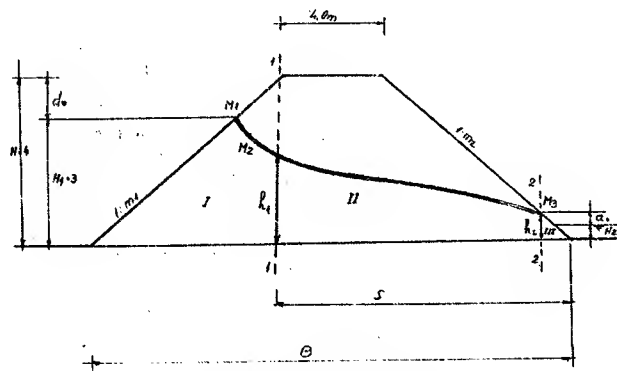


Fig. 32 Secțiune transversală prin dig

în fragmentul I debitul se infiltrează după linii de curent curbe ce se pot aproxima cu linii de curent orizontale de aceeași lungime și aplicând legea lui Darcy se obține

$$q_I = \frac{ka}{m_1} \ln \frac{H}{d+a}$$

în fragmentul II mișcarea respectă legea lui Dupuit, obținând pentru debit relația:

$$q_{II} = \frac{k}{2S} \left[ (H_1 - a)^2 - (H_2 + a_0)^2 \right]$$

Fragmentul III se împarte la rândul său în două fragmente după o linie orizontală la nivelul apei din aval, obținând fragmentele III1 și III2 cu debitele:

$$q_{III1} = \frac{ka_0}{m_2} ; \quad q_{III2} = \frac{ka_0}{m_2} \left( \ln \frac{H_2 + a_0}{a_0} \right)$$

rezultând debitul total ca sumă a celor două debite întrucât fragmentele sunt în paralel:

$$q_{II} = \frac{ka_0}{m_2} \left( 1 + \ln \frac{H_2 + a_0}{a_0} \right)$$

Întrucât fragmentele I și II sunt în serie rezultă

$$q_I = q_{II} = q_{III} = q$$

Calculul infiltrațiilor se reduce la rezolvarea sistemului de ecuații:

$$\frac{q}{k} = \frac{a}{m_1} \ln \frac{H}{d+a}$$

$$\frac{q}{k} = \frac{(H_1 - a)^2 - (H_2 + a_0)^2}{2S}$$

$$\frac{q}{k} = \frac{a_0}{m_2} \left( 1 + \ln \frac{H_2 + a_0}{a_0} \right)$$

unde  $S = b + m_2 (H - H_2 - a_0)$  iar necunoscutele sunt  $q$ ,  $a$  și  $a_0$ .

Practic rezolvarea se face grafic considerând într-o primă aproximație că  $a = 0$ , ecuațiile reducându-se la:

$$\frac{q}{k} = F_1 = \frac{H^2 - (H_2 + a_0)^2}{2S}$$

$$\frac{q}{k} = F_2 = \frac{a_0}{m_2} \left( 1 + \ln \frac{H_2 + a_0}{a_0} \right) = \frac{a_0}{m_2} \left( 1 + 2.3 \log \frac{H_2 + a_0}{a_0} \right)$$



Soluția se obține la intersecție celor două funcții, trasate pentru diferite valori ale lui  $a_0$ . Cu valoarea  $q/k$  astfel obținută se determină  $a$  și se reface calculul pentru  $a_0$  și  $q/k$ , până când din două reiterații succesive se obțin aceleași valori pentru toate necunoscutele.

În cazul digurilor din lungul râurilor interioare, mișcarea la ape mari este nepermanentă durata viiturilor variind între 5 - 7 zile este posibil ca  $H_2$  (nivelul apei la piciorul interior al digului) să fie  $H_2 = 0$ .

Atunci relațiile devin:

$$\frac{q}{k} = \frac{a}{m_1} \ln \frac{H}{d+a}$$

$$\frac{q}{k} = \frac{H_1^2 - a_0^2}{2S} = F_1$$

$$\frac{q}{k} = \frac{a_0}{m_2} = F_2$$

Curba de depresie se calculează pentru fragmentul II cu relația:

$$y = \sqrt{H_1^2 - \frac{x}{S}(H_1^2 - a_0^2)}$$

#### EXEMPLU DE CALCUL

Se consideră secțiunea transversală prin dig (fig 32), cu lățimea la coronament  $b = 4$  m, înălțimea digului  $H = 4$  m, nivelul de apă la debitul de calcul  $H_1 = 3$  m, înclinarea taluzului amonte  $m_1 = 3$ , înclinarea taluzului aval  $m_2 = 2$ , înălțimea coloanei de apă la piciorul digului în aval  $H_2 = 0,5$  m. Pentru aceste valori expresiile funcțiilor  $F_1$  și  $F_2$  sunt:

$$\frac{q}{k} = F_1 = \frac{H_1^2 - (H_2 + a_0)^2}{2S} = \frac{9 - (0,5 + a_0)^2}{2[4 + 2(4 - 0,5 - a_0)]}$$

$$\frac{q}{k} = F_2 = \frac{a_0}{m_2} \left( 1 + \ln \frac{H_2 + a_0}{a_0} \right) = \frac{a_0}{2} \left( 1 + \ln \frac{0,5 + a_0}{a_0} \right)$$

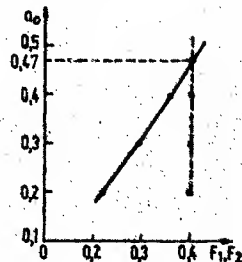
$a_0$ (m)	0,2	0,3	0,4	0,5
$F_1$	0,402	0,401	0,4006	0,40
$F_2$	0,225	0,297	0,36	0,42

Din grafic rezultă  $a_0 = 0,47$  m,  $q/k = 0,4$ .

$$q = 0,4 \cdot k = 0,4 \cdot 10^{-6} = 4 \cdot 10^{-7} \text{ cm/s} = 0,00034 \text{ m/z}$$

Calculul curbei de infiltrație este dat de relația

$$y = \sqrt{H_1^2 - \frac{x}{S}[H_1^2 - (H_2 + a_0)^2]} = \sqrt{9 - \frac{x}{10}[9 - (0,5 + 0,47)^2]}$$



ce permite trasarea liniei de infiltrație pe lungimea fragmentului II.

x (m)	0	2	4	6	8	10
y (m)	3	2,72	2,40	2,05	1,59	0,96

#### 5.7. VERIFICAREA STABILITĂȚII TERENULUI DE FUNDATIE

În toate cazurile când digul se amplasează pe fundație permeabilă, sau când între fundația permeabilă și dig se află un strat argilos subțire, cu permeabilitate redusă, este necesar să se verifice stabilitatea terenului de fundație la acțiunea de sufozie a apei infiltrate, evitându-se realizarea unui gradient hidraulic critic.

În acest scop, este necesar ca lățimea amprizei digului să satisfacă relația (Bligh).

$$L \geq 2CH$$

unde:

L - lățimea amprizei digului;

H - înălțimea coloanei de apă la nivelul de calcul;

C - coeficient în funcție de natura terenului, având după Lane, valorile:

- nisipuri foarte fine sau prafuri	8,5
- nisipuri fine	7,0
- nisip mediu	6,0
- nisip grosier	5,0
- pietriș fin	4,0
- pietriș mediu	3,5
- pietriș grosier și bolovănișuri	3,0
- argilă	3,0

Pentru exemplul considerat lățimea amprizei  $L = 24$  m, înălțimea coloanei de apă la debitul de calcul  $H_1 = 3$  m, iar pentru teren argilo - nisipos  $C = 3$ .

$$L = 24 \text{ m} > 2CH_1 = 2 \cdot 3 \cdot 3 = 18 \text{ m}$$

Când ampriza digului este insuficient de mare (nu se verifică la condiția arătată), se impune realizarea unei banchete la taluzul interior cu dimensiuni capabile să preia subpresiunea apei de infiltrație, sau executarea unui dren la piciorul taluzului aval.

O atenție deosebită trebuie acordată stabilității fundației digului în deosebi când acesta traversează privală, albie părăsitate. Situația cea mai frecventă este aceea când în urma lucrărilor de regularizare albia minoră a fost rectificată iar digul traversează albia veche, părăsită. În astfel de situații se prevede umplerea albiei până la nivelul terenului, digul amplasându-se pe platforma estfel realizată. Lungimea platformei, aval și amonte de ampriza digului trebuie să fie de minimum  $6h$  (aval) și  $2h$  (amonte), în care  $h$  reprezintă adâncimea albiei (fig.33).

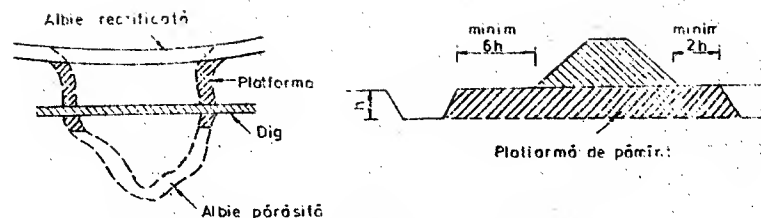


Fig. 33. Platforme pentru fundația digului

Debitul infiltrat prin terenul de fundație determinat după metoda Pavlovski are expresia:

$$q_{\text{in}} = \frac{k_1(H_1 - a_0)T}{Ln}$$

unde:

$k_1$  - coeficientul de permeabilitate al terenului de fundație ( $10^{-2}$  cm/s);

$T$  - grosimea straturilor permeabile ( $T = 5$  m);

$H_1$  - nivelul apei la debitul de calcul ( $H_1 = 3$  m);

$a_0$  - înălțimea de izvorăre ( $a_0 = 0,4$  m);

$n$  - coeficient de corecție pentru lungimea liniei de infiltrație cu valori cuprinse între 1,15 - 1,87 pentru raportul  $L/T = 20 - 1,0$ .

În exemplul nostru:  $n = 1,77$ ,  $T = 5$  m,  $k = 10^{-2}$  cm/s =  $10$  m/z,  $L = 24$  m, se obține

$$q_{\text{in}} = \frac{10^{-2}(3 - 0,4)5}{24 \cdot 1,77} = 0,3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{sm}$$

Debitul specific total prin și pe sub dig are valoarea:

$$q_{\text{t}} = 3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{sm}$$

Acest debit apare numai în timpul viiturilor, deci pe o perioadă scurtă de timp.

## 6. LUCRĂRI PENTRU CREAREA ȘI FIXAREA ALBIEI

Pentru realizarea și fixarea în plan, în profil longitudinal și în secțiunea transversală a albiei regularizate proiectată, sunt necesare lucrări de terasamente și lucrări pentru fixarea albiei.

### 6.1. LUCRĂRI DE TERASAMENTE

Lucrările de terasamente care sunt necesare pentru realizarea albiei regularizată sunt următoarele:

- lucrări de terasamente pentru calibrarea albiei existente;
- lucrări de terasamente pentru realizarea unei albie minore noi;
- lucrări de terasamente pentru diguri, umplerea albiilor vechi sau de depresiuni,

etc.

#### 6.1.1. LUCRĂRI DE TERASAMENTE PENTRU LĂRGIREA ALBIEI

Terasamentele se execută în zonele în care albia minoră nu are secțiune suficientă, menținându-se însă traseul existent.

Săpăturile (executate cu draglina), se realizează în anumite sectoare unde albia minoră este mai mică decât cea proiectată, fie datorită unui material mai rezistent, fie datorită unor colmatări.

Materialul rezultat din săpătură se transportă după caz, în corpul digurilor de apărare împotriva inundațiilor, brațe moarte, diverse umpluturi în zone apropiate sau, când este posibil se împrăștie pe o anumită lățime a malului. După săpătura executată cu draglina sau alt utilaj, taluzul malului se finisează la înclinarea taluzului stabil.

#### 6.1.2. LUCRĂRI DE TERASAMENTE PENTRU ÎNGUSTAREA ALBIEI EXISTENTE

Terasamentele se execută în zonele în care se urmărește în plan traseul albiei minore existente, aceasta având însă o lățime prea mare față de secțiunea necesară, de regulă datorită unor eroziuni laterale.

În aceste zone este necesar să se restrângă albia la dimensiunile proiectate, prin umpluturi cu pământ rezultat fie din adâncirea albiei, fie cu pământ adus din alte profile în care albia trebuie lărgită. Când însă pentru reprofilarea albiei sunt necesare volume prea mari de umpluturi de pământ, trebuie analizate și alte soluții utilizându-se și alte materiale în locul pământului (de exemplu diguri de dirijare submersibile cu traverse de colmatare, epiuri, etc.). Aceste lucrări sunt adesea necesare și în cazul când albia existentă este împărțită în mai multe brațe și când prin proiectare este necesar să se creeze o singură albie principală (minoră).

#### 6.1.3. LUCRĂRI DE TERASAMENTE PENTRU CREAREA UNEI ALBII MINORE NOI

Realizarea unei albie noi este necesară când se deviază albia pe un nou traseu părăsindu-se albia existentă, sau când se taie unele coturi nefavorabile ale albiei existente.

Săpăturile pentru realizarea albiei noi se execută de regulă cu draglina, excavatorul sau parțial cu screperul sau buldozerul.

În vederea realizării unei albie noi trebuie analizată cu mai mult discernământ, deoarece o rectificare abuzivă poate conduce la modificarea echilibrului dinamic al cursului de apă, care devine instabil. Pentru disiparea energiei, cursul de apă are tendința, în astfel de situații, să-și formeze noi meandre prin procese active de eroziune, apărând necesitatea unor lucrări suplimentare de compensare a pantei sau de consolidare a malurilor.

Când situația locală nu permite supraînălțări de nivel la viituri, sau când materialul în care se excavază albia minoră este coeziv și compact, albia nouă trebuie excavată la profilul transversal proiectat.

În unele situații se poate aplica și metoda unui canal de străpungere (canal pilot) care se realizează cu o secțiune mai mică, urmând ca albia să se dezvolte la secțiunea finală prin autodragare, folosind energia de antrenare și de transport a cursului de apă.

Lucrările de străpungere se fac pentru evitarea unei bucle prea pronunțate. Aceste lucrări comportă în general formarea unei albie unice, care se dimensionează astfel ca vitezele corespunzătoare debitului  $Q$  (p%) să nu depășească pe cele din secțiunile naturale (amonte și aval).

Panta fundului proiectat se va racorda cu panta existentă, totdeauna în aval, urmând ca eventuala denivelare să rămână în secțiunea amonte (fig. 34).

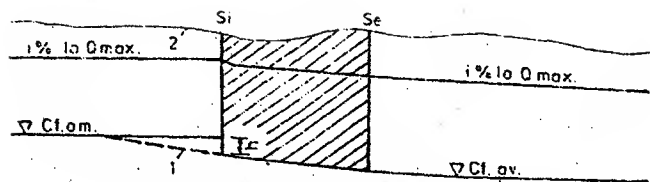


Fig. 34. Racordarea pantelor la tăienile de coturi.

1. Adâncire probabilă; 2. Linia malului;  
S<sub>i</sub> secțiunea amonte; S<sub>e</sub> secțiunea aval.

În acest caz modificările ulterioare ale fundului albiei se vor produce regresiv și amonte de secțiunea de intrare, fără a afecta lucrările din canalul de străpungere. În cazul albiilor nisipoase, ușor afuiabile, în secțiunea de intrare (fig. 34) se vor proiecta praguri de fund pentru menținerea fundului proiectat.

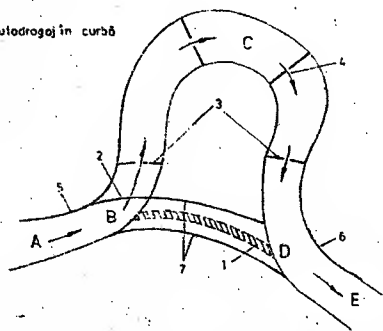
Străpungerile de cot pot fi prevăzute cu:

- secțiunea de curgere necesară, când curentul nu are capacitate de autodragare;
- secțiune redusă, în care caz se contează pe capacitatea de autodragare a curentului.

Canalul de străpungere (pilot) va avea:

- cota fundului, egală cu cota proiectată a fundului secțiunii integrale;
- secțiunea minimă a albiei nu trebuie să fie mai mică de 1/3.....1/4 din secțiunea albiei naturale (albie stabilă).

a. Canal de autodragaj în curbă



b. Amplasamentul canalului de autodragaj

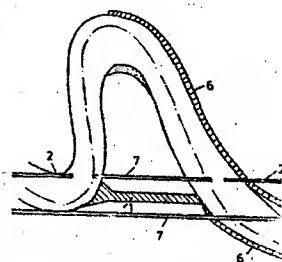


Fig. 35. Străpungerea unui cot

1. Canal de autodragaj; 2. Închidere de albie; 3. traverse de colmatare;  
4. Deschideri în traverse; 5. Dig de dirijare; 6. Lucrare de protecție;  
7. Șanțuri umplute cu piatră

Afuierea maximă în punctul B pe canalul de străpungere, datorită scurtării traseului albiei prin tăierea cotului BCD (fig. 35) se calculează cu relația:

$$h_{af} = i \cdot l$$

unde:  $h_{af}$  - este scurtarea traseului albiei BCD;  $i$  - este panta medie a scurgerii pe traseul BCD;  $h_{af}$  - adâncimea afuierei datorită coborării patului albiei în punctul B.

Coborârea de nivel înainte de producerea afuierei fundului, se determină, orientativ cu relația:

$$\Delta z = i(L - l)$$

unde

$\Delta z$  - este coborârea de nivel (m);

$i$  - panta suprafeței libere a apei;

$L$  - lungimea cursului (buclei), înainte de străpungere (m);

$l$  - lungimea cursului după tăierea cotului (m)

Iar distanța  $L$  pe care se întinde remuiul de coborâre se determină aproximativ și acoperitor cu relația:

$$L_z = \frac{2 \Delta z}{i}$$

în care:

$L_z$  - este distanța pe care se întinde remuiul (m);

$\Delta z$  - coborârea de nivel (m);

$i$  - panta suprafeței libere a apei înainte de străpungere (m)

Determinarea exactă a acestor valori se face cu ajutorul unui calcul de remu.

Condiția ca un canal de străpungere (pilot) să se dezvolte prin autodragaj până la secțiunea de echilibru este ca:

$$v_1 > v_2 \text{ și } \frac{R_1}{R_2} > \left( \frac{l_1}{l_2} \right)^3$$

unde:

$v_1$  - viteza curentului în albia străpunsă pe traseul BD;

$v_2$  - viteza curentului pe traseul BCD;

$R_1$  și  $R_2$  - razele hidraulice corespunzătoare;

$l_1$  și  $l_2$  - lungimile celor două trasee BD și BCD.

O altă condiție necesară este ca efortul critic de antrenare  $\tau_{cr}$  să fie mai mic decât efortul de antrenare ( $\tau = \gamma_a h_1 i$ ) pe traseul BD.

$$\tau > \tau_{cr}$$

la debitele lichide la care, pe traseul AB, curentul nu transportă aluviuni.

Eforturile critice de eroziune  $\tau_{cr}$  și vitezele critice corespunzătoare se iau din tabelul următor:

Nr crt	Natura materialelor albiei	Efortul critic de eroziune (kg/m <sup>2</sup> )	viteza la suprafață (m/s)	vitez. medie (m/s)	vitez. la fund (m/s)
1	nisip cuarțos φ 0.20-0.4 mm	0.18...0.20	0.35	0.30	0.20
2	nisip obișnuit φ 0.4 - 1.0 mm	0.25 - 0.30	0.40	0.35...0.40	0.25...0.30
3	nisip obișnuit φ 2 mm	0.40	0.50	0.40	0.30
4	nisip grăunțos	0.60 - 0.70	0.55 - 0.85	0.45 - 0.70	0.30

5	argilă tare		1,20	1,0	0,70
6	nămol fin ușor	0,30...0,30	0,35...0,18	0,30...0,15	0,08...0,12
7	lehm (lut) nisipos	1,10	0,60	0,50	0,35
8	nisip argilos	1,10	0,60	0,50	0,35
9	pietriș mărunț	1,25	0,95	0,80	0,53
10	pietriș mijlociu	4,50	0,95...1,20	0,80...1,0	0,55...0,70
11	pietriș mare	4,80	1,60...2,25	1,40...1,90	1,00...1,35
12	pietriș argilos	1,20...1,50	1,50	1,30	0,90
13	pietre late calcaroase	4,0...5,60	-	-	-
14	pietre colțuroase	3,50...4,50	2,10	1,80	1,25
15	pajiște cu iarbă (viitură de scurtă durată)	2,00...3,00	-	-	-
16	pajiște (viitură de durată)	1,50...1,80	2,10	1,80	1,25
17	brăzduire cu iarbă bine fixată	2,50...3,00	-	-	-
18	conglomerate		2,10	1,80	1,25
19	roci stratificate		2,50...2,75	2,00...2,25	1,80...1,40
20	roci dure		3,50...4,50	3,00...4,00	2,10...2,80

Siguranța dezvoltării noului braț se obține în cazul în care debitul solid târât, calculat cu elementele albiei pe traseul BD este mai mare decât debitul solid târât calculat pe traseul BCD.

Lucrările de protecția malurilor și afuiierilor canalului de străpungere, cât și săparea canalului propriu-zis, se vor prevedea să se facă la adăpostul unor dopuri de închidere de pământ la racordarea cu traseul inițial conform fig. 36, dopuri ce se vor îndepărta în momentul dinjării apei pe noul traseu.

Străpungerea canalului pilot se prevede în axul traseului, când străpungerea se face în linie dreaptă și în jumătatea fâșiei interioare, către malul convex, opusă concavității, în cazul străpungerii curbe (fig. 35 b și c).

Pentru a ajuta dezvoltarea albiei pe traseul BCD se vor prevedea diguri de închidere (traverse) submersibile cu sau fără deschideri deversante (fig. 35 b și 36). La proiectarea lucrărilor de apărare din jurul podurilor trebuie să se țină seama de remu și de afuieri în regim regularizat, conform normativului PD 95 - 77.

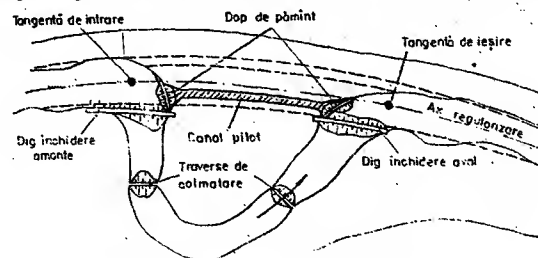


Fig. 36 Trasarea canalului pilot

#### 6.1.4. LUCRĂRI DE TERASAMENTE PENTRU REALIZAREA DIGURILOR DE APĂRARE ÎMPOTRIVA INUNDAȚIILOR, A UMPLUTURILOR ÎN ALBII PĂRĂSITE

De regulă aceste terasamente se execută pentru regularizarea albiei majore a cursului de apă.

Digurile pentru apărarea împotriva inundațiilor se execută cu pământul rezultat de la crearea albiei minore menționate, din gropi de împrumut în zona dig - rial sau din cariere de pământ. Săpăturile și umpluturile se realizează cu utilaje de săpat, mijloace de transport și utilajele de compactare, cele mai adecvate pentru cazul respectiv.

La stabilirea surselor de pământ pentru executarea digurilor trebuie să se aibă în vedere:

- să fie cât mai apropiate, pentru a se reduce la minimum distanțele de transport;
- materialul să fie corespunzător din punct de vedere geotehnic;
- să se evite cât mai mult posibil scoaterea din circuitul productiv a terenurilor agricole. În acest caz se va urmări amplasarea carierelor de pământ pe terenuri neproductive.

#### 6.2. LUCRĂRI PENTRU FIXAREA ALBIEI REGULARIZATE PROIECTATE

Albia regularizată proiectată și creată prin lucrările de terasamente menționate, trebuie ca în exploatare să fie stabilă. Sunt mai rare cazurile când o albie regularizată și realizată numai prin lucrări de terasamente poate fi stabilă în timp, deoarece:

- de cele mai multe ori prin temă se cere o restrângere a albiei majore care conduce la mărirea vitezelor de curgere în albia minoră peste valorile vitezelor admisibile de neantrenare a materialului ce formează patul albiei regularizate proiectate;

- pentru obținerea unor suprafețe necesare construcției de obiective economice - sociale sau pentru extinderea suprafețelor agricole, este necesar să se taie o serie de curbe (coturi) nefavorabile ale albiei existente, ceea ce conduce la mărirea pantei hidraulice și deci a vitezelor. În aceste cazuri vor fi necesare unele protecții de mal și poate să apară necesitatea executării de praguri de fund îngropate sau chiar a unor căderi cu una sau mai multe trepte;

- în cazul lărgirii albiei existente, poate să apară ca necesară executarea unei apărări de mal, deoarece prin distrugerea protecției vegetale naturale, materialul pus pe malul nou creat poate fi antrenat de curentul de apă. Din această cauză, la lărgirea albiei existente, dacă malurile sunt protejate cu vegetație, este indicat să se lărgască albia pe unul dintre maluri, iar celălalt să se păstreze în situația naturală;

- când se crează o albie nouă, pe un traseu deviat, se impune fixarea malurilor prin lucrări dacă patul albiei viitoare este alcătuit din material necoeziv mărunț;

- lucrări de protecție pentru fixarea albiei apar necesare și în cazul îngustării unei albie naturale prea late sau împărțită în mai multe brațe.

Pentru a se fixa albia regularizată cu lucrări corespunzătoare se efectuează verificarea stabilității generale și locale a albiei proiectate.

Verificarea generală se face ținând seama de situația în care va funcționa albia în comparație cu situația naturală, având în vedere:

- posibilitatea adâncirii fundului albiei, dacă sectorul de amenajat este situat în aval de o acumulare;

- modificarea debitelor de calcul față de situația naturală prin atenuări în amonte, dezatenuări, derivații de debite, etc.;

- mărirea pantei hidraulice prin tăieri de coturi, devieri de albie, etc.
- natura materialului care va forma patul albiei (coeziv sau necoeziv).

Pentru verificarea stabilității albiei trebuie să se cunoască vitezele apei și forțele de antrenare care se vor realiza în albia regularizată. Verificarea stabilității albiei proiectate se face comparând vitezele de calcul care se vor realiza în viitor cu vitezele admisibile de neantrenare a materialului care va forma patul albiei.

Vitezele de apă medii care se compară, sunt cele calculate la nivelul de calcul ( $H_c$ ) separat pentru albia minoră și pentru albia majoră. Calculul se face conform indicațiilor anterioare, adoptându-se rugozități corespunzătoare rezultate pe baza cercetărilor hidrogeologice pe teren a datelor obținute în alte sectoare apropiate ale râului respectiv, a datelor obținute pe sectoare ale altor râuri aflate în condiții analoage cu cele ale sectorului studiat sau pe baza tabelelor existente în literatura de specialitate.

De asemenea, este necesar să se studieze transformările albiei în profil longitudinal și în plan, după regularizare.

Pe baza concluziilor studiului transformării albiei în timp și a comparării vitezelor medii de calcul cu vitezele admisibile pentru diferite terenuri date în tabel, se poate stabili dacă albia este stabilă sau instabilă, dacă se execută numai lucrări de terasamente.

În cazul când albia este instabilă se apreciază și gradul de instabilitate și se trece la analiza diferitelor variante pentru lucrări, cu ajutorul cărora să se stabilizeze albia.

Pentru stabilizarea malurilor albiei regularizate, se poate folosi o gamă mare de lucrări care variază între cea mai simplă și mai ieftină lucrare, care este înierbarea taluzurilor și până la tipul cel mai greu de lucrare care poate fi de exemplu un zid de sprijin din beton.

Această gamă de lucrări poate fi împărțită în mai multe categorii ca de exemplu:

- apărări de mal;
- epiuri;
- diguri de dirijare submersibile;
- traverse de colmatare și consolidare;
- praguri de fund;
- căderi cu una sau mai multe trepte.

De asemenea, lucrările pentru fixarea albiei regularizate se mai împart în:

- lucrări cu caracter pasiv care opresc acțiunea dăunătoare a curentului dar care acționează direct asupra curentului de apă al râului (apărări de mal, praguri de fund îngropate etc);

- lucrări cu caracter activ care acționează asupra curentului de apă, schimbând caracteristicile acestuia (epiuri, diguri de dirijare submersibile, traverse de colmatare, închideri de albie, căderi, etc).

Pentru lucrările de fixare a albiei se poate utiliza orice material de construcție: pământul, piatra de râu și de carieră, lemnul sub diferite forme, betonul și betonul amar, oțelul, materiale bituminoase, materiale plastice, etc.

Lucrările de fixare a albiei se alcătuiesc din elemente de construcție simple sau compuse, înierbare, fascine, pereți din diferite materiale, cleionaje, pachetaje, garnisaje, cilindri de nuiel, rulouri de piatră, saltele de fascine, beton sau asfaltice, gribane, căsoale, carcase, reazeme pentru îmbrăcăminte, etc.

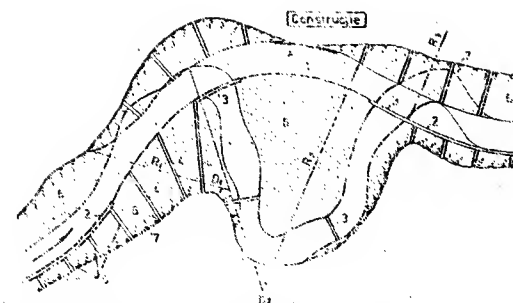


Fig. 37 Regularizarea unui sector de râu

1. Limită albie regularizată; 2. Dig longitudinal de dirijare; 3. Dig de închidere și colmatare; 4. Epiuri; 5. Traversă de compartimentare; 6. Albie majoră; 7. Mal înalt; 8. Consolidare de mal

Elementele de construcție se alcătuiesc dintr-un singur material sau, mai frecvent din mai multe materiale.

Cele mai des utilizate elemente de construcție, au fost tipizate de ICPGA în proiectul tip nr. 201/1980 sub denumirea de *Module pentru lucrări de regularizare a albiei râurilor*.

Din elemente de construcție se alcătuiesc diferite tipuri de lucrări care se pot aplica pe metru liniar de albie sau de lucrare.

Astfel, se pot realiza tipuri de lucrări pentru apărări de mal, pentru epiuri, pentru diguri de dirijare submersibile, pentru digurile de apărare împotriva inundațiilor, etc.

Se menționează că pe un sector de râu cu anumite condiții geotehnice și viteza apei mare, pentru fixarea albiei regularizate, se pot utiliza diferite genuri de lucrări și diferite secțiuni tip din diferite materiale. Alegerea genului de lucrări, și a materialelor de construcție se face pe baza analizei tehnico-economice la care trebuie să se țină seama de următoarele considerații:

- materialele să nu fie energo-intensive, preferându-se materialele locale pentru a nu fi transportate la distanțe mari în vederea reducerii consumului de combustibil;

- prevederea unor lucrări realizabile cu dotarea existentă a constructorului. Totodată este necesar ca de comun acord cu forurile de avizare și aprobare să se urmărească introducerea unor procese tehnologice și utilaje noi, în vederea mării gradului de mecanizare și productivității muncii;

- evitarea sau reducerea la minimum a lucrărilor sub apă și a epuizamentelor. În acest scop, planul calendaristic de executare a lucrărilor trebuie să fie strâns corelat cu nivelurile probabile din cursul de apă.

Este necesar să se evite pe cât posibil lucrările de regularizare rigide, monolite, pe fundații speciale: piloți, chesoane, radiere grele, etc., preferându-se cele care prin elasticitatea lor, pot urmări ușor deformațiile și tășările patului albiei.

Adâncimea de fundare a lucrărilor de fixare a albiei trebuie să meargă până la adâncimea probabilă de afuiere. Dacă acest lucru nu este posibil, baza construcțiilor va fi protejată cu saltele masive din anrocamente din piatră brută, blocuri de beton, etc., ținându-se seama de adâncimea de afuiere.

La lucrările de regularizare cu caracter permanent, elementele din lemn nevegetativ se vor utiliza numai sub nivelul maxim al cursului de apă. Vegetația vie de pe țăluzuri va fi prevăzută deasupra nivelului mediu multianual pentru a nu fi exfisiată de apă.

Cota coronamentului lucrărilor de fixare a albiei cu caracter activ este determinată de nivelul de regularizare și de condițiile de exploatare. Vor fi luate în considerare, când este cazul, și înălțimea valului și înălțimea de gardă.

La proiectarea lucrărilor de regularizare trebuie efectuate toate calculele și verificările necesare dimensionării și stabilității acestora, avându-se în vedere:

- stabilitatea generală și locală a albiei;
- presiunile pe terenul de fundație (tasări, refuzări, etc.);
- stabilitatea generală la alunecare și răsturnare;

stabilitatea elementelor izolate sub acțiunea de antrenare a curentului de apă, velurilor, ghețurilor;

- stabilitatea taluzurilor;

### 6.3. LUCRĂRI DE APĂRARE

#### 6.3.1. CRITERII DE BAZĂ LA ALEGEREA SOLUȚIILOR

Prin lucrări de apărare se înțelege orice fel de construcție inginerescă care are drept scop să protejeze malurile sau infrastructura căilor de comunicație și lucrărilor de artă, împotriva acțiunii de erodare sau afuiere a curentului apei, velurilor, gheții, plutitorilor, etc.

Lucrările de apărare au în general un caracter local, limitat la zonele din apropierea traseului căilor de comunicație cu cursul de apă. Ele trebuie însă tratate astfel ca să se încadreze într-un plan general de amenajare, privind întregul curs de apă. Lucrările se vor prevedea cu încăstrări corespunzătoare în malurile stabile ale cursului de apă.

În alegerea soluțiilor se va ține seama de următoarele:

- de condițiile specifice ale curgerii concretizate prin elementele rezultate din calcul ( $Q(p\%)$ ,  $v$  și  $i$ ) și în final înălțimea  $h$  a nivelului liber al apei, corespunzător lui  $Q(p\%)$  pentru care se dimensionează construcțiile de apărare;
- de natura terenului în albie și în maluri și de morfologia albiei naturale în general;

- de posibilitățile și evoluția în timp a erodării sau efuierii albiei;

- de posibilitățile de procurare a materialelor de construcție sau de folosire a materialelor locale, precum și de posibilitățile de depozitare și organizare a execuției.

La alegerea soluțiilor de apărare, trebuie analizate în plus:

- solicitările datorită valurilor (în special în cazul lacurilor de acumulare sau râurilor navigabile);
- solicitările datorită gheții;
- solicitările datorită plutitorilor.

Se vor evita soluțiile care ar aduce modificări sau schimbări bruște în regimul de curgere al curentului, prin modificări de secțiune nerăcordată hidraulică sau ieșinduri mari din linia generală a lucrării.

La traversarea orașelor sau altor localități se va avea în vedere înscrierea lucrărilor în ansamblul arhitectonic local, precum și adaptare lor la tipurile de lucrări existente.

În cazul refacerii unor lucrări care au fost spălate de vituri, proiectantul va trebui să examineze dacă este oportun să se mențină vechea soluție sau să se adopte un alt sistem de apărare. În general, în acest caz, rezolvarea constă în adoptarea unei soluții cu lucrări complexe de regularizare.

#### 6.3.2. CLASIFICAREA LUCRĂRILOR DE APĂRARE

a) După acțiunea lor asupra curentului, lucrările de apărare se împart în următoarele grupe:

- apărarea terasamentelor drumurilor, căilor ferate și podurilor, denumite pe scurt apărări de maluri;

- lucrări de regularizare sau rectificări de albie cu caracter local.

Apărările de maluri sunt lucrări cu caracter pasiv care opresc acțiunea dăunătoare a curentului, fără să modifice caracteristicile acestuia. Ele abat gradat curentul din porțiunile spălate ale malului, creând condiții pentru curgerea paralelă în dreptul difențelor construcții hidrotehnice (prize, baraje) și poduri.

Apărările de mal se fac diferențiat după nivelurile caracteristice ale apei.

a) Nivelurile caracteristice după care se zonează malul în vederea proiectării apărărilor sunt conform fig.38:

- etiajul, nivelul minim convențional al cursurilor de apă navigabile stabilit în diferite feluri; cel mai frecvent este nivelul asigurat 335 de zile din anul cu asigurarea de 95%;

- nivelul apelor mici, aproximativ nivelul corespunzător  $Q(80\%)$ ;

- nivelul mediu;

- nivelul de calcul, corespunzător lui  $Q(p\%)$ ;

- nivelul de verificare, corespunzător lui  $Q(p\%)$ .

b) Zona I, fiind situată deasupra nivelului de calcul este cea mai rar supusă acțiunii curentului și de aceea în această zonă se prevăd lucrări de apărare mai ușoare.

c) Zona a II-a, aflată între nivelul mediu și nivelul de calcul pentru  $Q(p\%)$ , este zona cea mai frecvent supusă variațiilor apei și acțiunii gheții.

Pentru această zonă, lucrările de apărare trebuie să fie mai rezistente, dimensionându-se în funcție de natura terenului și în funcție de eforturile date de curent, valuri sau gheață.

Lucrările de apărare ce se vor prevedea pentru zona I și a II-a se pot executa în perioade cu nivel de apă scăzut.

d) Zona cea mai importantă pentru stabilitatea malului este zona situată permanent sub nivelul apei (a III-a).

Apărarea din această zonă constituie elementul de sprijin al întregului mal, de aceea la proiectarea ei trebuie să se țină seama de viteza curentului și de condiția de stabilitate generală. De asemenea, în alegerea tipului de apărare se va ține seama și de condițiile de lucru sub apă și de gradul de afuiere al albiei.

Apărările de mal trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

- să fie stabile la orice schimbare a nivelului apei;
- să suporte în bune condiții acțiunea dinamică a valurilor sau presiunea gheții și a plutitorilor;
- să-și mențină efectul de apărare și în cazul modificărilor de viteză sau de direcție a curentului;
- să fie rezistente la variații de temperatură, la tasări, la acțiunea apelor subterane, precum și la acțiunea chimică a apei.

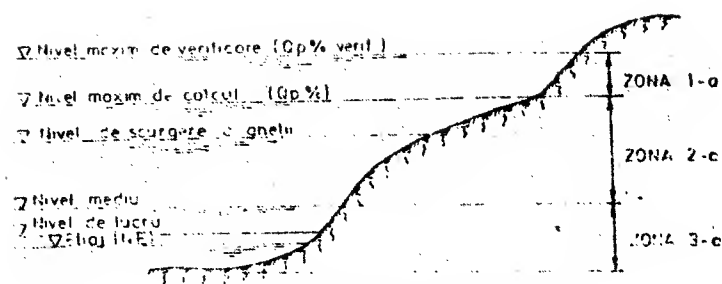


Fig. 38. Zonarea malului după niveluri.

Apărările de mal se împart în:

- apărări de maluri deasupra nivelului mediu al apelor;
- apărări de maluri sub nivelul mediu al apelor;
- apărări speciale (susțineri și consolidări de maluri).

Apărarea directă a taluzurilor malurilor se face:

- în principal, prin lucrări masive permanente, care odată realizate necesită doar întreținerea curentă în exploatare și reparații și intervenție în punctele cu degradări întâmpinate;

- incidental, cu lucrări ușoare provizorii, cu caracter de intervenție.

În practică, pentru apărarea profilului malului ca un întreg, se recurge la combinarea unor îmbrăcăminte de protecție și consolidări, asociate cu mijloace naturale existente în vecinătate.

### 6.3.3. APĂRĂRI DE MAL DEASUPRA NIVELULUI MEDIU AL APELOR

Lucrările pentru apărarea malurilor deasupra nivelului mediu, sunt lucrări de protecție biologică sau din diverse materiale ca: înierbări, brăzduri, plantații de salcie, cleionaje, fascine din nuiele, pereuni uscate din piatră brută, pereuni zidite din piatră brută, pereuni din beton, îmbrăcăminte bituminoase, mase plastice, geotextile, saltele din gabioane.

Domeniul de aplicare al acestor tipuri de apărări este prezentat după cum urmează:

#### Lucrări de protecție biologică (lucrări vegetative)

##### Protecție prin înierbare

Protecția malurilor prin înierbare se poate realiza în toate cazurile în care forța de antrenare a apei nu depășește  $0,5 - 1,0 \text{ kgf/m}^2$ . De obicei înierbarea se aplică în zona 1-a peste nivelul maxim de calcul, unde malul este inundat foarte rar. Reușita unei astfel de protecții depinde în mare măsură de alegerea judicioasă a amestecului de ierbură în funcție de natura pământului și condițiile climatice.

Orientativ, în tabelul de mai jos se prezintă cantitățile de semințe necesare pentru realizarea unei bune înierbări.

Specia	Cultură pură (kg/ha)	Amestec (%)	Amestec (kg/ha)
Lolium perene	30	20	10,50
Festuca pratensis	35	20	9,00
Dactylis glomerata	25	20	8,50
Drornus imermis	40	15	10,50
Lotus corniculatus	15	15	4,50
Trifolium repens	12	15	3,50
TOTAL	-	100	46,50

#### Protecția malurilor prin plantații.

Se folosește pentru zona a II-a și I-a a taluzurilor malurilor utilizându-se specii cu lemn moale (salcie, răchită, plop), salcia fiind cea mai indicată având în vedere dezvoltarea rapidă, vitalitatea și faptul că rezistă la solicitări mari, putând da rezultate pozitive chiar și în cazul forțelor de antrenare de până la  $4 \text{ kgf/m}^2$ .

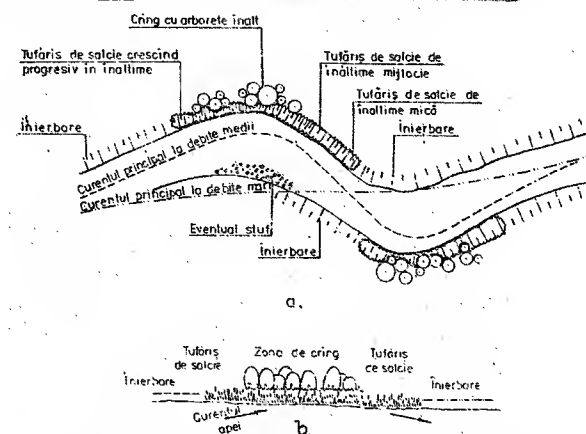


Fig. 39 Amenajarea cu protecție biologică a unui curs de apă cu diferențe între malul convex și cel concav

Pentru a se obține bune rezultate este necesar să se aibă în vedere următoarele:

- Salcia se dezvoltă bine numai în condiții de lumină nesuportând umbra. În amestec cu alte esențe lemnoase își pierde repede vigoarea, astfel că plantația trebuie supravegheată înlăturând ceilalți arbori.

- Rădăcina salciei acoperă o mare suprafață fără a pătrunde însă prea adânc în pământ. De aceea, mai ales la plantațiile tinere, o îmbrăcăminte de iarnă stânjenește dezvoltarea rădăcinilor, putându-se provoca chiar axfisia.

- Pentru a crește, salcia are nevoie de căldură, cu condiția ca temperaturile ridicate să nu fie însoțite de o scădere apreciabilă a apei în cursul de apă. Rădăcinile având nevoie de apă îndeosebi în lunile aprilie - mai.

- Plantațiile de salcie pot sta 7-8 zile complet sub apă fără a suferi. Pot fi inundate chiar câteva săptămâni cu condiția ca unele ramuri ale coroanei să rămână deasupra apei.

De asemenea, la aplicarea unei astfel de protecție trebuie ținut seama de următoarele condiții limitative:

- taluzul malului nu trebuie să fie cu înclinarea mai mică de 1:1,5, cel mai indicat fiind panta de 1:3;

- butașii de salcie necesită minimum o perioadă de vegetație pentru a-și dezvolta rădăcinile capabile să reziste la acțiunea apei. De aceea, este indicat ca protecția taluzului să fie realizată deasupra nivelului mediu multianual;

- patul albriei trebuie fixat prin lucrări corespunzătoare, deoarece plantațiile nu pot stăvilă eroziunea de adâncime sau eroziunea laterală, la piciorul malului;

- plantațiile nu trebuie folosite la cursuri de apă cu pantă foarte mică (sub 0,2%) sau cu lățimi ale fundului sub 5 m, existând riscul ca vegetația să obtureze secțiunea de scurgere.

#### Protecții prin împletituri de nuiele

Se disting următoarele tipuri de lucrări:

- împletitură simplă;
- împletitură dublă;
- cleionaje

Împletitura simplă, se folosește sub formă de gârdulețe dispuse în lungul taluzului (paralel cu albia râului) pentru a fixa și proteja îmbrăcăminte vegetală. Gârdulețul se realizează din butași lungi de cca. 40 cm, înfipti în pământ la distanța de 30 cm unul de celălalt, iar partea aeriană a acestora se împletește în mod continuu.

Împletitura dublă, se utilizează în același scop, fiind constituită din nuiele de salcie plantate la o adâncime de 20 - 30 cm și împletite în jurul unor țăruiști distanțate la 25 cm. Înălțimea gârdulețului este de cca. 10 cm.

Cleionajele sau caroiajul din nuiele este dispus pe două direcții, formând pe taluz un caroiaj cu latura de 1 - 1,5 m. Nuielele sunt împletite în jurul unor țăruiști cu diametrul de 4 - 10 cm, cu lungimea de 40 - 70 cm, dispuși la distanța de 30 - 50 cm. Spațiul dintre gârdulețe se umple cu pământ, sau cu piatră de râu. Conform cu STAS 2916-73, cleionajele se aplică pe taluzurile cuprinse în zona a II-a și se folosesc de asemenea la apărarea digurilor din albia majoră sau la protecția sferturilor de con ale podurilor.

#### Protecții prin îmbrăcăminte de nuiele

Pachetajele de nuiele reprezintă o protecție prin acoperire a taluzului, cu material capabil să vegeteze imediat, protejând și totodată consolidând malul. Pachetajele sunt snopi de nuiele sau fascine așezate pe taluz în grosime de 10 - 30 cm, fixate prin țăruiști și transversal prin fascine, sau sarmă (fig. 40).

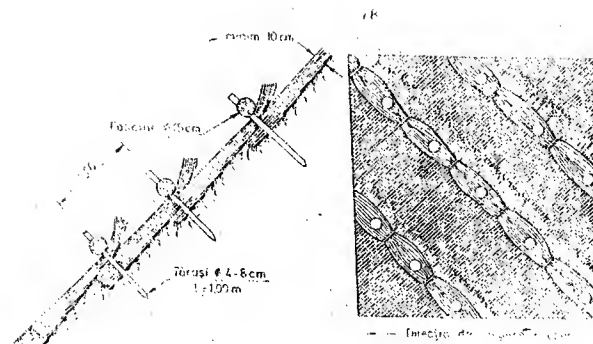


Fig. 40 Pachetaje de nuiele

Domeniul de aplicare a pachetajelor

Grosimea pachetajului (cm)	Viteza medie a apei la debitul de calcul (m/s)
10	2,0 - 2,5
20	2,5 - 3,0
30	3,0 - 3,5

Garnisajul de nuiele constituie o protecție formată dintr-un strat de nuiele așezate paralel cu direcția curentului de apă. Nuielele se fixează prin țăruiști și sarmă. Garnisajul se acoperă cu un strat subțire de pământ pentru a favoriza lăstărirea (fig. 41).

Domeniul de aplicare a garnisajelor

Grosimea garnisajului (cm)	Viteza medie a apei la debitul maxim de calcul (m/s)
10	2,0 - 2,5
20	2,5 - 3,0
30	3,0 - 3,5

Condiții de aplicare:

- se execută pe taluz, stratul de nuiele paralel cu direcția curentului, iar țăruiști plantați perpendicular, la distanța de maxim 1,2 m;
- nuielele sunt din esență moale, în stare verde cu  $\phi$  maxim 4 cm;
- garnisajul se acoperă cu un strat subțire de pământ pentru a favoriza lăstărirea



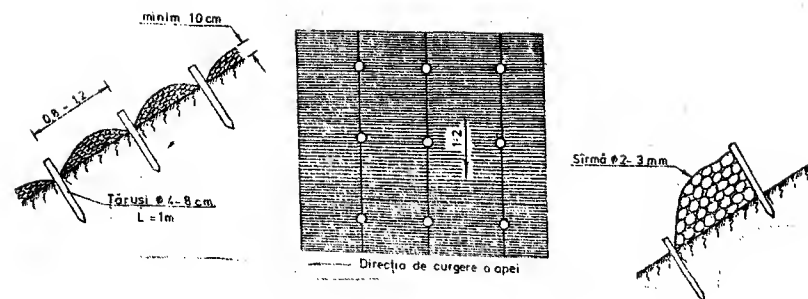


Fig. 41 Garnisaj de nuiete

### Reazime pentru protecții biologice

Reazimele pentru protecțiile biologice se prevăd în aceleași condiții ca la celelalte tipuri (secțiuni) de protecție menționate. De asemenea, elementele de construcție sunt similare celor prezentate în capitolul anterior

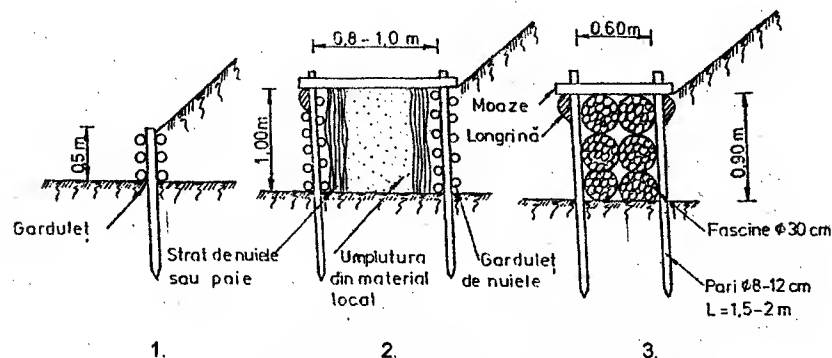


Fig. 42 Reazime pentru sprijinirea apărărilor, protecția bazei taluzului împotriva afuienilor

1. Gărduleț de nuiete; 2. Cleionaje cu umplutură din material local;  
3. Cleionaj cu umplutură din suluri de fascine.

### Condiții de aplicare pentru cleionaje și gărdulețe

- Se utilizează la albiile fără afuieni.
- În cazul albiilor afuiabile se pot folosi tipurile 2 și 3, așezate pe saltea de fascine.
- La tipul 2 în cazul folosirii bolovanilor de râu nu mai este necesar stratul de protecție din nuiete sau paie.
- Parul de fixare pentru soluția 1 trebuie să fie din aceeași esență ca și nuietele.

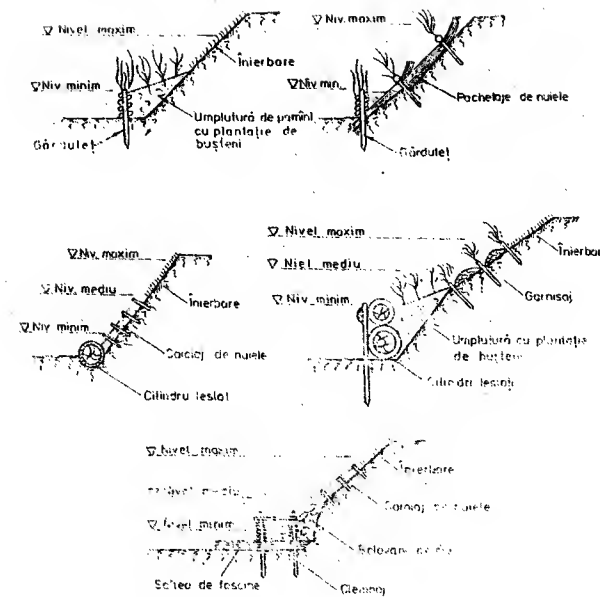


Fig. 43 Secțiuni pentru apărări de mal vegetative

### Pereu din piatră brută

Pereunile uscate din zidărie de piatră brută se proiectează pentru protejarea taluzurilor cu o înclinare mică ( $< 1:2$ ), sub unghiul de frecare interioară (fig. 38 a).

Când terenul de protejat este necoeziv, sub pereul uscat se așează obligatoriu filtru de protecție pentru a anihila fenomenul de sufozie.

Pereul din piatră brută care are rosturile dintre elemente zidite cu mortar de ciment, sau când este așezat pe o fundație de beton, se numește pereu zidit (fig. 44 b și fig. 44 c).

Aceste pereuri fiind rigide nu se vor așeza pe taluzurile rambleelor proaspete și nici pe terenurile tasabile sau loessoidale.

La taluzurile din materiale necoezive nu se vor folosi pereuri zidite pe fundație de beton, datorită pericolului de degradare prin fenomenul de sufozie.

În acest caz se pot folosi pereurile rostuite cu mortar pe un pat drenant din piatră spartă.

La malurile inundabile, pereul se va continua peste creasta malului cu cca. 1,0 m pentru a evita spălarea lui la retragerea apelor.

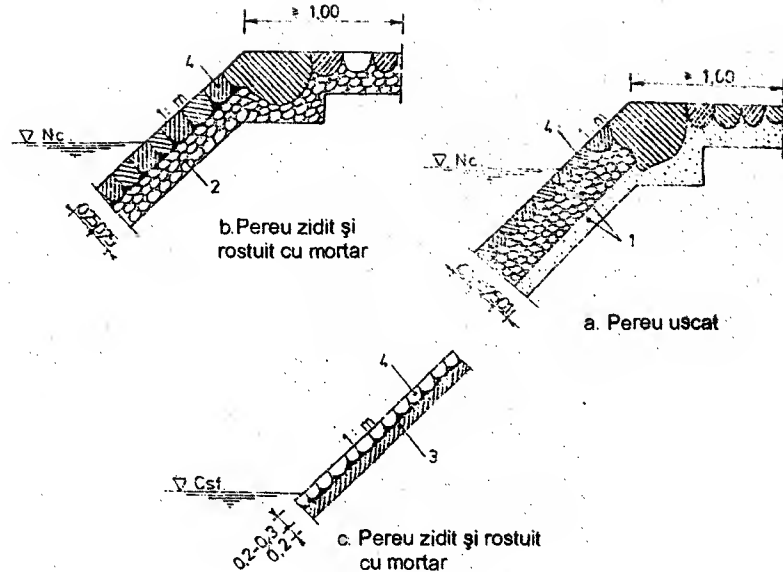


Fig. 44. Pereu din zidărie de piatră brută  
1. Filtru de protecție din nisip și piatră spartă  
2. Pet drenant din piatră spartă  
3. Strat din beton simplu  
4. Piatră brută

În acest caz se pot folosi pereunile rostuite cu mortar pe un pat drenant din piatră spartă.

Le malurile inundabile, pereul se va continua peste creasta malului cu cca. 1,0 m pentru a evita spălarea lui la retragerea apelor.

#### Apărări de mal din beton simplu și beton armat

Apărățile cu beton simplu și beton armat se folosesc pe sectoarele cursurilor de apă cu viteze mari de curgere, unde se găsesc produse de balastieră locale ieftine și acolo unde lipsește piatra brută, iar transportul acesteia din altă parte ar costa foarte mult.

Pereunile se realizează din:

- beton turnat pe loc;
- dale prefabricate din beton (fig. 45 și fig. 46).

Ca și pereunile din piatră brută, pereunile din beton se vor așeza pe un pat drenant.

Dozajul de ciment va fi astfel ales încât să se mărească impermeabilitatea, rezistența la îngheț și uzură, folosindu-se eventuale adaosuri plastifiante.

Pereunile din beton armat sunt indicate în zonele foarte solicitate de curent și valuri, unde sunt de așteptat tasări importante

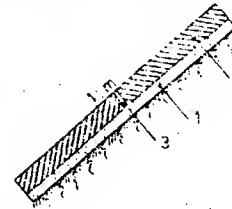


Fig. 45. Pereu din beton simplu turnat pe loc

1. Pat drenant
2. Beton simplu
3. Rost

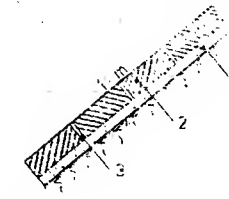


Fig. 46. Pereu din dale prefabricate din beton simplu

1. Pat drenant
2. Dale prefabricate
3. Rost

Armăturile se așează la mijlocul secțiunii dacă grosimea plăcii este sub 15 cm și în două rânduri pentru grosimi mai mari, procentul de armare fiind cuprins între 0,3...0,5 %.

Rosturile de construcție pentru betonul simplu se vor prevedea la 3...7 m, iar pentru betonul armat la 10...15 m. Rosturile de dilatare, atât pentru betonul simplu cât și pentru betonul armat se vor prevedea la 20...25 m.

Dalele prefabricate se vor dimensiona la solicitările de exploatare (statice și hidrodinamice), precum și în funcție de condițiile de lucru și de posibilitatea de punere în operă. Grosimea lor minimă este condiționată de asigurarea armăturii împotriva coroziunii și de rezistența plăcii.

Dalele pot fi prevăzute cu rosturi deschise sau cu rosturi închise. Ele se vor așeza obligatoriu pe un pat drenant.

Pentru apărarea taluzurilor situate sub nivelul apei se vor prevedea protejări flexibile din dale de beton, solidarizate cu articulații demontabile sau nedemontabile, cu cabluri zimțate ce trec prin găurile prevăzute special în plăci. Aceste protejări se ancorează la partea superioară a taluzului, la creasta eceștiu (fig. 47 a și b).

O soluție mai economică este aceea de a fixa dalele de beton pe o placă din material plastic sau din fibră de sticlă.

În fig. 48 a dalele sunt prevăzute cu găuri circulare care permit ieșirea apei de infiltrație din taluzuri, ceea ce conduce la diminuarea subpresiei.

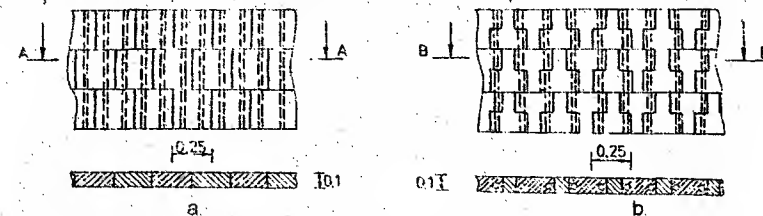


Fig. 47. Plăci prefabricate folosite la protecția taluzurilor

În fig. 48 b se prezintă o protecție cu rame din beton ce se încastrează în taluz și se umple parțial cu piatră.

Figura 48 c sunt prezentate dalele cu proeminențe utilizate în zonele cu valuri și care au rolul de a reduce înălțimea de ridicare a acestora pe taluz. De asemenea reduc viteza și energia valurilor prin frecările mari create de nervuri și prin reținerea maselor de apă în golurile compartimentelor.

În fig. 49 și 50 sunt prezentate două tipuri de apărări de mal cu pereți din dale din beton. Aceste lucrări nu se pot executa decât la uscat sau la niveluri foarte joase.

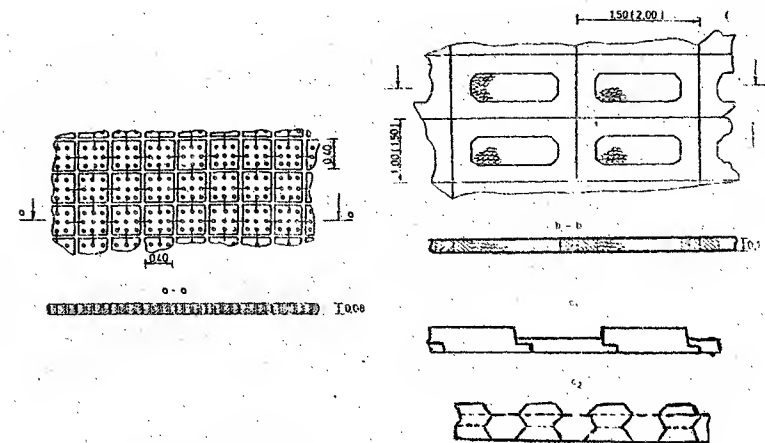


Fig. 48 Variante de prefabricate pentru protejarea taluzurilor

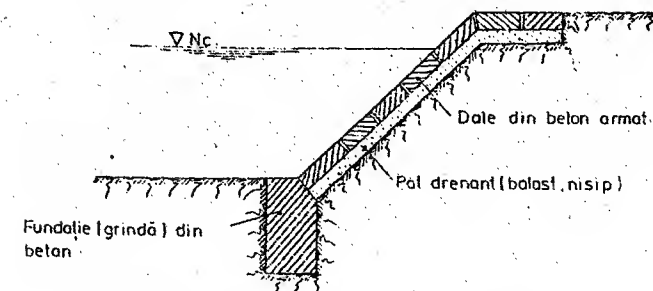


Fig 49 Apărare de mal cu dale din beton armat.

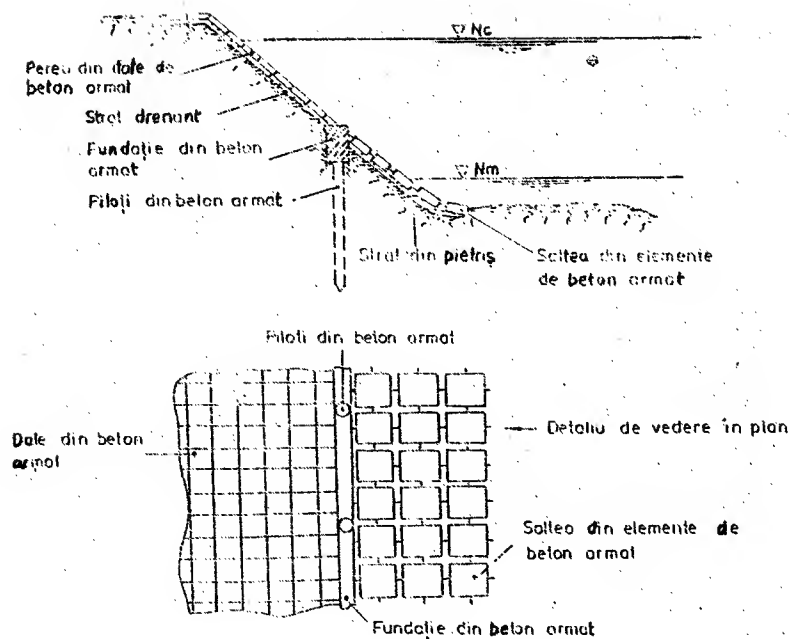


Fig. 50 Apărare de mal cu pereu din dale de beton, piloți și saltea din elemente prefabricate din beton armat

#### Apărările cu îmbrăcăminte asfaltice sau bituminoase

Acest tip de apărare este indicat la impermeabilizarea fundului și taluzurilor canalelor noi și la etanșeizarea digurilor (fig. 51).

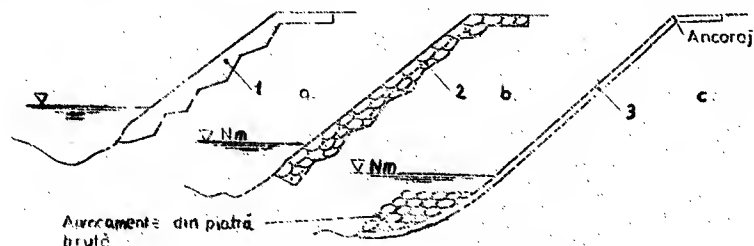


Fig. 51. Îmbrăcăminte bituminoasă sau asfaltică  
a 1. beton asfaltic; b 2. piatră înglobată în esalt;  
c 3. saltea din trei rânduri de pânză asfaltică.

Cea mai simplă protecție asfaltică se obține prin așternerea unui strat de liant bituminos peste un strat de piatră spartă răspândită și indesată în prealabil pe taluzul sau fundul canalului (fig. 51 b).

Un alt tip de îmbrăcăminte o constituie betonul asfaltic sau betonul bituminos în grosime de 6...8 cm așezat direct pe taluz sau peste un strat de piatră spartă sau beton poros.

Pentru protecția taluzurilor situate sub apă se vor folosi plăci prefabricate din asfalt sau saltele asfaltice confecționate pe uscat, care vor fi luate la piciorul taluzului cu piatră brută, iar asigurarea la alunecare pe taluz, se va face prin ancorarea lor la creasta taluzului (fig. 51 c).

Cu toate că este elastică și mai ieftină, această protecție prezintă și unele dezavantaje ca:

- alunecarea pe taluz sub acțiunea greutății proprii;
- înmuierea și curgerea pe taluzuri cu înclinarea mare ( $> 1,5$ ) la temperaturi ridicate;
- sunt degradate ușor de gheață sau rădăcinile plantelor.

Îmbrăcămintele din mase plastice cu policlorură de vinil (PVC), se utilizează la apărarea malurilor și taluzurilor cu pante mai mici de 1:3, fiind așezate pe un pat bine nivelat, de obicei pe un strat de nisip. Pentru a împiedica alunecarea acestor îmbrăcăminte pe taluz, se vor ancora la partea superioară. Datorită grosimii lor reduse (de câțiva centimetri), aceste îmbrăcăminte sunt vulnerabile la lovituri, putând fi străpunse de ancore, rădăcini de plante, gheață, etc.

Pentru prevenirea unor astfel de situații, pot fi acoperite cu un strat de protecție care le apără și de acțiunea directă a soarelui.

Îmbrăcămintele armate cu fibre, servesc la alcătuirea saltelelor și țesăturilor care pot înlocui filtrele de protecție.

Geotextilele, ca materiale tehnice confecționate din fibre din polimeri sintetici cu proprietăți filtrante, filtrant - drenante, de armare și consolidare a masivelor de pământ, servesc la epărări și consolidări de maluri, diguri, lucrări de drenaj, construcții pe terenuri dificile, etc.

Apărarea sau protejarea taluzelor de eroziuni se realizează cu covoare din geotextile însământate pe taluzuri bine finisate în zonele I-a și II-a.

Datorită rezistenței lor ridicate, geotextilele pot înlocui filtrul de protecție din material granular la apărările de maluri.

Geotextilele mai sunt folosite și la alcătuirea saltelelor ca: saltele din geotextil, înlocuitor de fascine și acoperită cu piatră brută, saltea mixtă din geotextil și un carotaj de fascine.

Având greutatea proprie foarte redusă și datorită ușurinței de punere în operă, geotextilele sunt mai des folosite la lucrările de apărare a terasamentelor (fig. 52).

#### Protecția malurilor cu saltele de gabioane

Saltelele din gabioane se aplică pe taluzuri situate permanent în apă (la rambleele situate în zona lacurilor de acumulare) și unde alt sistem de apărare nu este indicat, precum și în cazul când vitezele depășesc 5 m/s.

Grosimea saltelei va fi cuprinsă între 0,30...0,50 m în funcție de natura terenului.

În fig. 47 se arată o protecție de taluz cu saltea din gabioane.

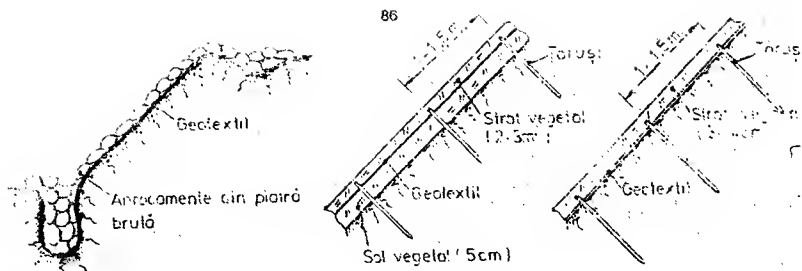
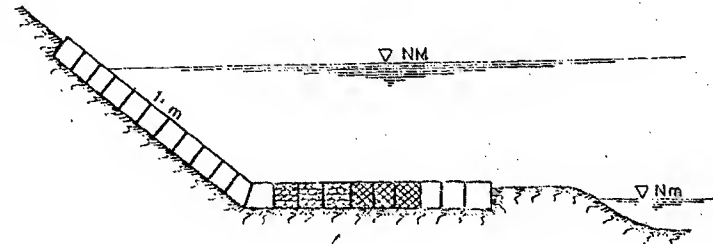


Fig. 52. Protecții cu geotextile



Saltea din anrocamente îmbrăcată cu plasa din sârmă

Fig. 53 Protecția malurilor cu saltele din gabioane (a) și din plase de sârmă umplute cu anrocamente (b)

87

Lucrarea care se proiectează sub nivelul mediu fiind cea mai importantă, trebuie să fie și cea mai robustă, urmând să îndeplinească următoarele condiții:

- să preia afuierea maximă ale fundului albiei;
- să reziste la acțiunea de târâre a curentului de apă;
- să reziste prin frecare pe fund la lunecarea rambleului sau a malului în apă;
- să constituie în același timp și reazemul pentru lucrarea de protecție a taluzurilor.

Lucrările sub nivelul mediu al apelor pot fi alcătuite din:

- fundația din beton sau zidărie din piatră brută;
- prism din anrocamente din piatră brută;
- prism din anrocamente din piatră brută pe saltea.

Fundație de beton simplu, beton ciclopian sau zidărie din piatră (uscată sau cu mortar de ciment, fig. 54)

Aceste lucrări se pot proiecta:

- în albie la care roca de bază se găsește la suprafață (maxim 50...60 cm);
- când există posibilitatea devierii curentului din zona de lucru;
- la protejarea digurilor de apărea împotriva inundațiilor;
- în albia majoră a râurilor.

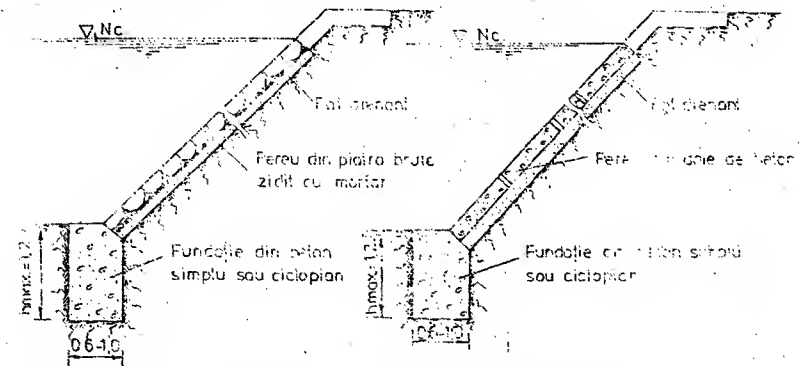


Fig. 54. Apărări de maluri cu pereuni pe fundații de beton

Adâncimea minimă a acestor lucrări va fi sub limita de îngheț și maximum la 1,20 m de la nivelul terenului. Se vor continua deasupra nivelului mediu al apelor cu lucrări adecvate de protecție a taluzului (fig. 53, 54, 55 și 56).

**Prism din anrocamente din piatră brută**

Aceste apărări se aplică pe sectoare de râuri pe care nu se pot produce afuieri mari și unde nu se poate devia curentul pe timpul execuției.

Coronamentul prismului se va proiecta cu 0,20...0,30 m deasupra nivelului mediu, iar lățimea va fi de 1,0...2,0 m corespunzător condițiilor de stabilitate și pentru a permite o întreținere ușoară a lucrărilor. Prismul din anrocamente se va continua deasupra coronamentului cu o îmbrăcăminte de taluz adecvată.

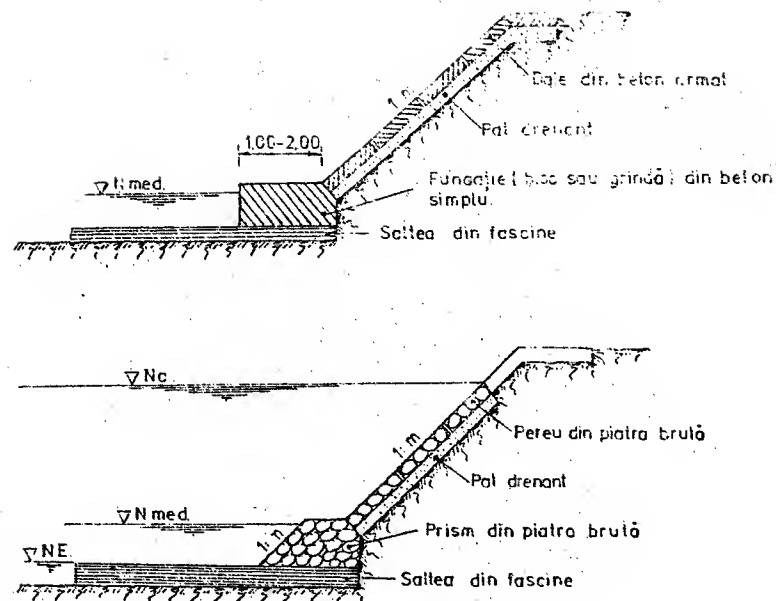


Fig. 55 Apărări de maluri cu pereu, pe prism sau grindă din beton și saltea din fascine

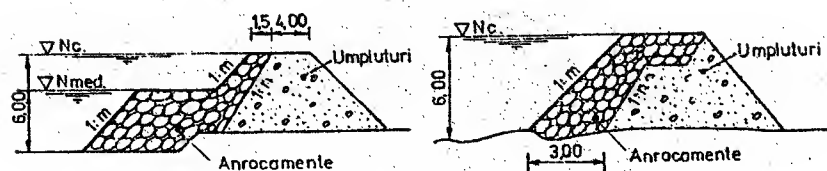


Fig. 56 Apărări de maluri cu anrocamente.

Saltelele de fascine se utilizează în cazurile în care patul albiei este alcătuit din material fin necoeziv, adâncimea de afuiere fiind mai mare de 1,0 m și atunci când cursul de apă are debit permanent, însă cu o viteză medie la debitul de calcul mai mică de 3,5 m/s

### 6.3.4. APĂRĂRI, SUSȚINERI ȘI CONSOLIDĂRI DE MALURI

Lucrările de apărare din această categorie sunt indicate la apărarea malurilor, îndeosebi, în cazul albiilor înguste, având totodată și rolul de susținere și consolidare. Aceste lucrări se pot realiza cu:

- gabioane;
- ziduri de apărare (sprijin);
- căsoale;
- piloți simplii sau ancoreți;

Gabioanele, ca elemente din plasă de sârmă umplute cu piatră brută se aplică la apărarea malurilor, în special la cursurile de apă unde bolovanii se pot extrage chiar din albie și acolo unde fundul albiei este mobil și în general, peste tot unde se impune o lucrare cu caracter mai stabil, unde vitezele depășesc 5 m/s și unde, din cauza situației și caracterului cursului de apă, nu se pot executa lucrări din fascine, iar cele din zidărie pe fundații adânci ar fi prea costisitoare.

Gabioanele se pot folosi parțial și la fundația unei lucrări expuse afuierii, pentru preluarea eventualelor eroziuni și tasări.

În fig. 57 sunt prezentate diferite tipuri de apărări și consolidări de maluri cu gabioane și saltele din gabioane.

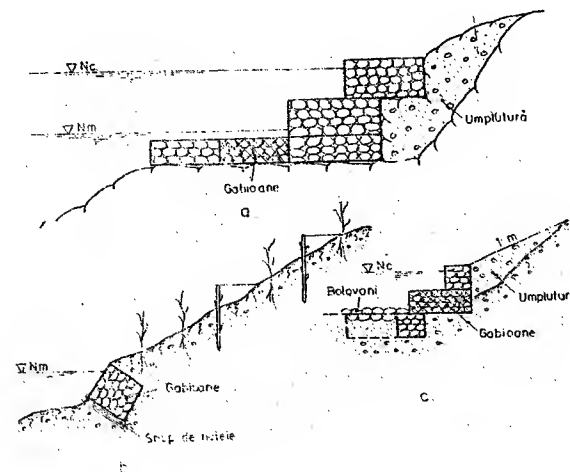


Fig. 57 Apărări și consolidări de maluri cu gabioane

Zidurile de apărare sunt construcții din zidărie de piatră brută, beton simplu, beton armat, din zidărie mixtă, sau elemente prefabricate. Zidurile de sprijin sunt indicate ca elemente de apărare a malurilor în cazul albiilor înguste, care nu permite o apărare cu anrocamente în contrabanchete, din cauză că prin dimensiunile lor mari, rezultate din condiția de stabilitate generală, ar conduce la supraînălțări de nivel și mărimi de viteză peste limitele admisibile  $V = 5 \text{ m/s}$ , precum și la consolidarea malurilor alunecate după trecerea viiturilor.

Zidurile de apărare pot fi:

- de platformă care se realizează până la muchia superioară a platformei drumurilor sau căilor ferate;

- de picior, care se realizează pentru apărarea părții inferioare a rambleelor sau malurilor (fig. 58). Acest tip de apărare se va modula pe tronsoane de maximum 5...6 m lungime.

Zidurile de apărare din casete sau elemente prefabricate din beton simplu sau beton armat pe fundații monolite se aplică acolo unde se dispune de un teren bun de fundare și neafuiabil (fig. 59).

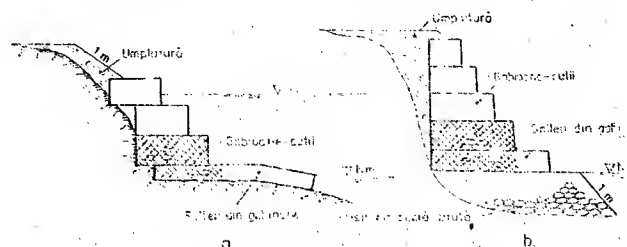


Fig. 58. Ziduri de apărare de gabioane pe saltea și pe prismă din piatră.

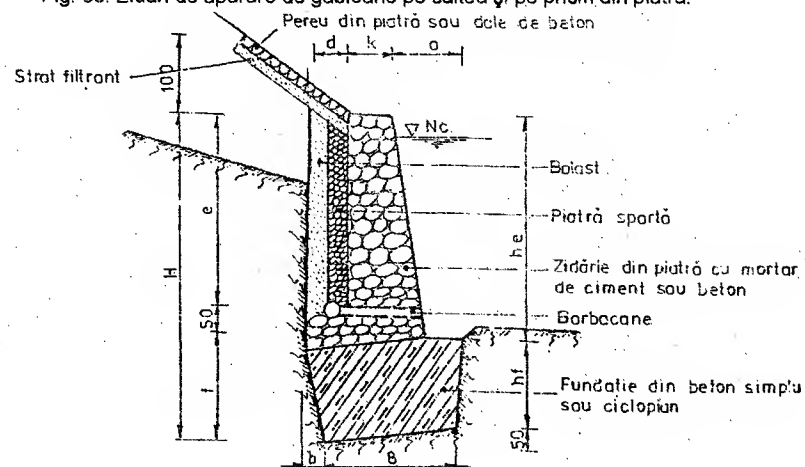
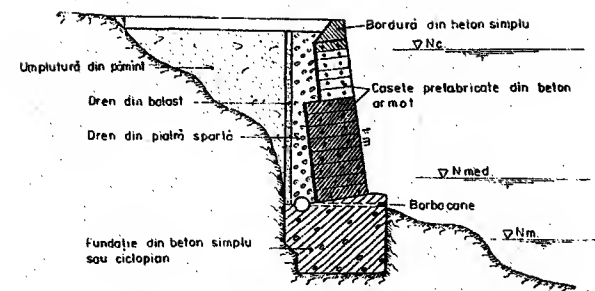


Fig. 59 Ziduri de apărare



a.

b.

Fig. 60. Ziduri de apărare din elemente prefabricate  
a) pe fundație din beton simplu sau ciclopian  
b) pe fundație din beton și prismă din piatră brută

Zidurile de sprijin se pot funda și pe terenuri afuiabile, dar numai prin intermediul saltelelor de gabioane care pot prelua afuierea.

Apărățile de maluri care au rolul și de consolidare, pot fi proiectate și din căsoale din lemn sau din prefabricate din beton armat (fig. 60 și 61).

Căsoarele se verifică la stabilitate, iar pereții la împingerea laterală și la strivire.

Când afuierea la piciorul malului depășește 3...4 m, apărățile se proiectează cu piloți simplii, piloți ancorați sau cu palplanșe (fig. 62).

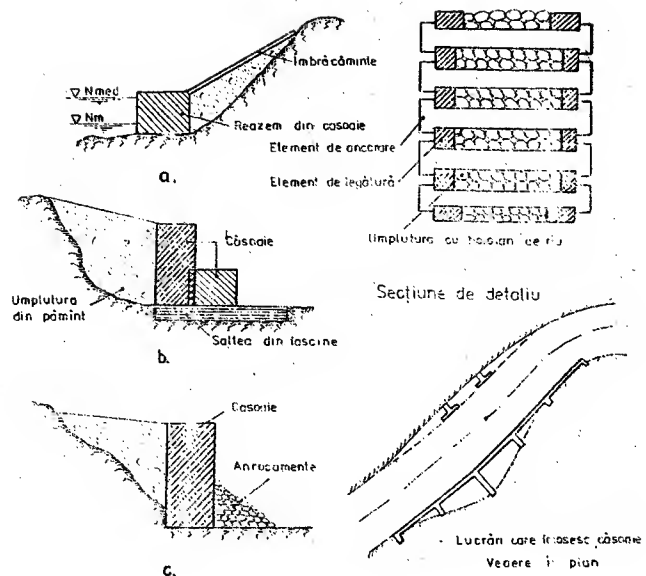


Fig. 51. Apărări și consolidări de maluri cu căsoaie

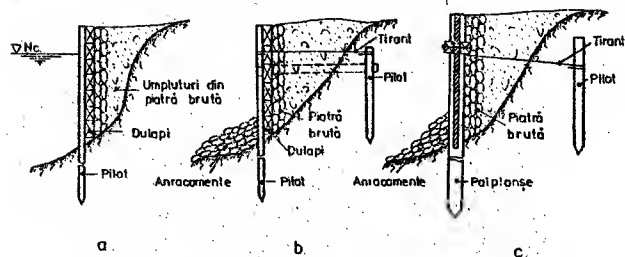


Fig. 62. Apărări și susțineri de maluri cu piloți simpli (a), piloți ancorați (b), palplanșe (c)

În fig. 63, este prezentată apărarea unui rambleu supraînălțat. Pentru a-i crea o platformă de siguranță, s-a prevăzut, la piciorul rambleului un prism de anracamente din piatră brută.

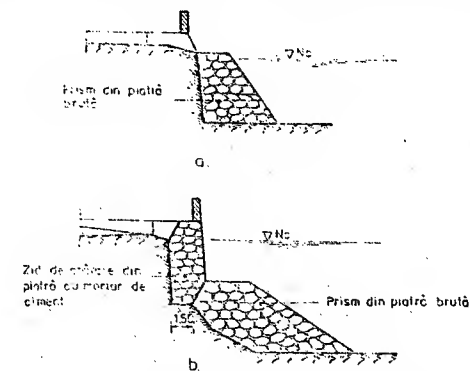
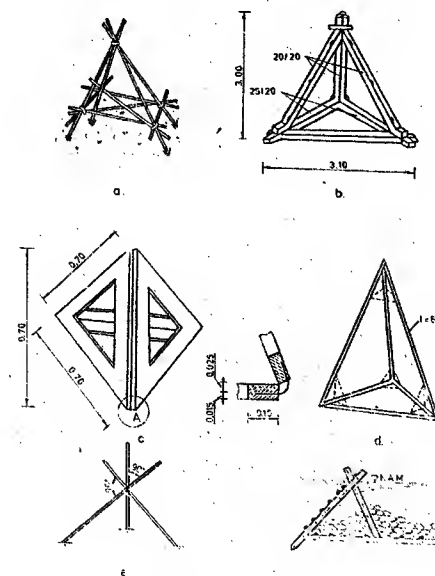
Fig. 63 Consolidarea lucrărilor de apărare existente  
a) rambleu supraînălțat;  
b) zid existent consolidat.

Fig. 64. Tipuri de carcase.



În fig. 63 a), pentru protejarea și consolidarea unui zid de apărare existent, a cărei fundație e periclitată de afuiere la ape medii, s-a prevăzut un prism de piatră brută la piciorul acestuia.

Carcasele sunt elemente de construcție alcătuite dintr-un schelet de bare din lemn, metalice sau beton armat (fig. 64). Având forme geometrice simple ca: piramidă, tetraedru sau corp stelat, pot fi utilizate la apărări și consolidări de maluri sau la închiderea brațelor pe cursurile cu fund mobil. Carcasele, combinate cu lucrări masive, ajută la interceptarea curentului în sectoarele puternic atacate, la producerea depunerilor și colmatarea câmpului de carcase.

#### 6.4. LUCRĂRI DE REGULARIZARE CU CARACTER LOCAL

##### 6.4.1. DIGURI LONGITUDINALE

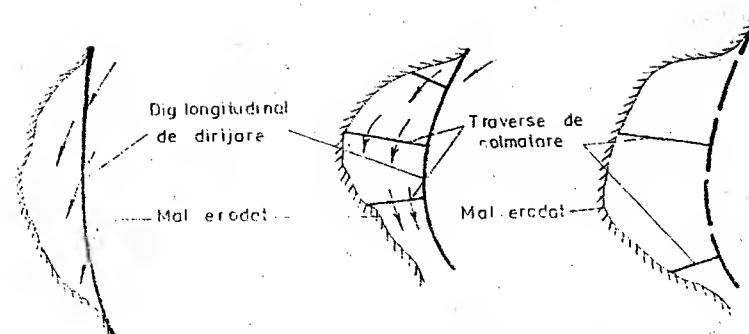
Digurile longitudinale au scopul de:

- apărare a malurilor, fiind denumite diguri longitudinale de apărare a malurilor;
- dirijarea cursului de apă pe un nou traseu, fiind denumite diguri longitudinale de dirijare a curentului;

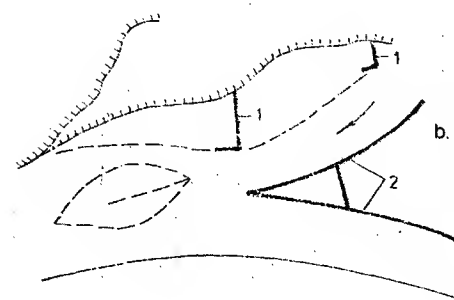
Digurile de apărare longitudinale a malurilor sunt lucrări de fixare a concavităților, care se folosesc când linia traseului de regularizare nu coincide cu linia malurilor. În general, traseul digurilor longitudinale va urma o curbă care să readucă și să dea un curs natural apei. Ele se vor racorda cu malul în zonele stabile ale acestuia. Digurile longitudinale de dirijare se vor proiecta când se impune dirijarea apei pe sub poduri sau pentru atenuarea confluenței a doi curenți (fig. 65 a și b). Digurile longitudinale de dirijare pot fi:

- submersibile;
- fără traverse de consolidare și colmatare;
- cu traverse de consolidare și colmatare;
- insubmersibile (fig. 65 c și fig. 70).

Digurile de dirijare se vor încastra cu capul amonte în mal pe cel puțin 5 m lungime, iar capul aval se va face mai rezistent sau se va lega de mal printr-o traversă de colmatare. Digurile pentru apărarea malurilor sau de dirijare din jurul podurilor se vor racorda cu aripile sau cu sferturile de con ale podurilor când culeele acestora au fundații de adâncime (piloți, chesoane, coloane). În cazul culeelor cu fundații amenințate de afuiere, digurile vor îmbrăca fundația culeii.

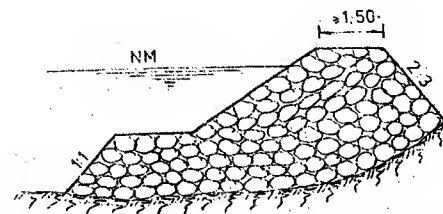


a<sub>1</sub> sistem submersibil a<sub>2</sub> sistem insubmersibil  
a Diguri longitudinale și transversale



1. epiuri  
2. diguri de dirijare

b. diguri de dirijare la  
confluența a două  
cursuri de apă



c. dig de dirijare din piatră

Fig. 65 Diguri de dirijare

Întrucât prin îngustarea albiei de către diguri se mărește forța de antrenare care are drept rezultat adâncirea albiei, digurile se vor prevedea cu o bază mare și elastică pentru a se putea urmări adâncimile și a nu fi periclitată de subspălare.

Pentru a nu se produce erodarea digului la traversarea lui de către apele de viitură, taluzul dinspre mal se va prevedea cu o pantă dulce.

Pe fundul afuiabil și puțin stabil se utilizează tipuri alcătuite din elemente de nuiile (pachetaje), fascine, suluri, saltele, gabioane combinate cu piatră.

Se recomandă ca elementele alcătuite din nuiile să fie așezate sub nivelul apelor mici pentru a nu putrezi și să fie protejate contra eroziunii apelor și materialelor solide transportate printr-o lestarsă cu un înveliș de piatră suficient de gros și stabil. În figura 66 se indică amplasarea unui dig de dirijare pentru restrângerea albiei și dirijarea aluviunilor la confluență. Digurile longitudinale se pot executa din aceleași elemente ca și apărările de mal de sub nivelul apei. Digurile din fig. 67 se pot utiliza în cazul albiilor cu fundul puțin afuiabil, iar digurile din fig. 68 atunci când fundul albiei este puternic afuiabil.

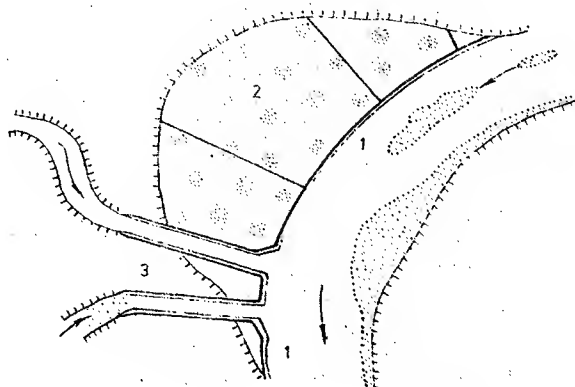


Fig. 66 Diguri de dirijare cu traverse de colmatare  
1- dig de dirijare; 2- traversă de colmatare; 3- dig de dirijare la confluență

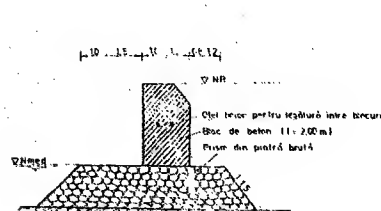


Fig. 67 Dig de dirijare submersibil  
din anrocamente și bloc de beton

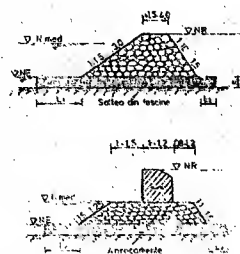


Fig. 68 Dig de dirijare submersibil  
pe saltele din fascine

În cazul când se renunță la consolidarea malului și la colmatare, se vor prevedea în mod obligatoriu diguri longitudinale insubmersibile chiar și pentru apele catastrofale. La proiectarea acestor diguri se vor prevedea fundații destul de adânc încastrate în albia râului pentru a nu fi afuiate, iar când pericolul afuierii nu poate fi evitat prin această măsură, fundațiile se vor prevedea cu o protecție spre firul apei, dintr-un perete de palplanșe sau ecran de beton (fig. 69).

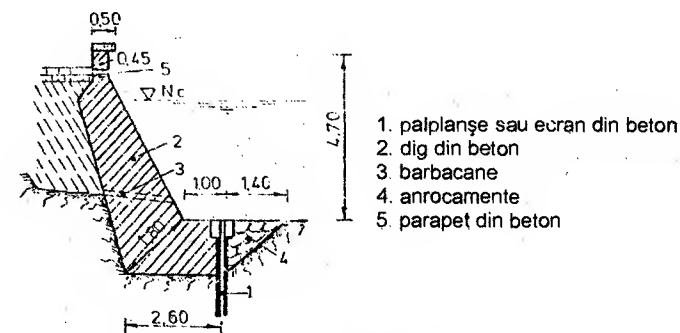


Fig. 69 Diguri insubmersibile din beton

Aceste diguri se vor prevedea cu un perete solid mai gros la bază și mai subțire la coronament. Cota digului insubmersibil se va prevedea cel puțin cu 1,0 m peste nivelul maxim de asigurare.

Nivelul de regularizare se va stabili la proiectare.

#### 6.4.2. DIGURI DE ÎNCHIDERE, TRAVERSE DE COMPARTIMENTARE ȘI COLMATARE

Digurile de închidere sau traversele de închidere sunt construcții care barează albia de la un mal la celălalt, în vederea întreruperii totale sau parțiale a scurgerii apei pe un braț al cursului de apă (fig. 66).

Digurile de închidere ce se amplasează pe brațele părăsite, cu un cap încastrat în aval și cu celălalt într-un dig de dirijare, având scopul de a accelera la viituri colmatarea albiei părăsite, în vederea refacerii malurilor, cât și pentru a asigura ca spatele digurilor longitudinale să nu fie atacate de ape, se numesc traverse de compartimentare și colmatare (fig. 66).

Cota superioară a acestor diguri se va limita la nivelul mediu al apelor și nu va depăși cota fundului albiei majore.

Digurile de închidere se vor amplasa perpendicular pe cursul brațelor secundare, cu încastrări adânci în maluri, pentru a evita ocolirea lor de către apele mari.

Digurile transversale și traversele de colmatare se vor amplasa de regulă la 1,5 din lungimea lor, socotită între mal și digul longitudinal.

Coronamentul digurilor de închidere va fi orizontal, și se vor uni cu digul longitudinal după o linie înclinată spre acesta, iar cota lor superioară lângă dig va fi aceeași cu a acestuia din urmă.

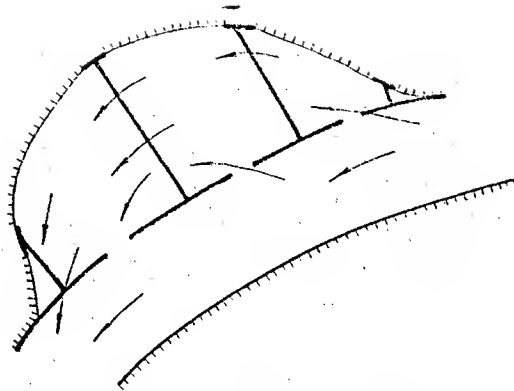


Fig. 70 a. Diguri de dirijare din gabioane.

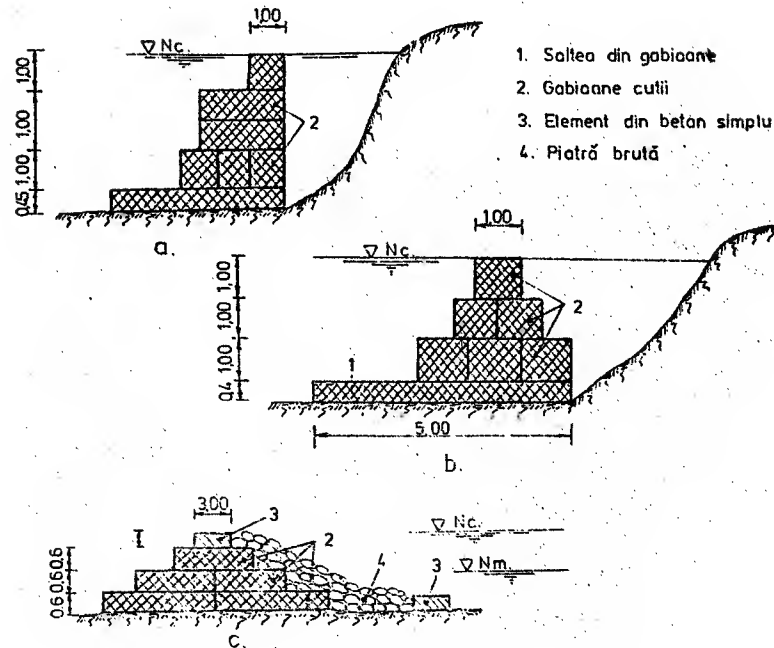


Fig. 70 b. Diguri longitudinale din gabioane umplute cu bolovani de râu.

Pentru a nu se produce afuierei ale albiei în aval, la deversarea apelor de viitură, care ar periclită stabilitatea construcției, taluzul aval se va face mai înclinat decât cel din amonte, iar baza va fi așezată pe o saltea elastică, care să preia deformările elbiei, în cazul terenurilor puternic afuiabile.

Atât digurile de închidere cât și traversele de colmetare, se realizează din anrocamente simple, din piatră brută, din anrocamente cu blocuri de beton, din anrocamente pe fascine, din gabioane și carcase. Nu se vor folosi bolovani de râu.

Secțiunea transversală a acestor lucrări se va deduce din condiția de stabilitate la alunecare și răsturnare. Dimensionarea lucrărilor se va face în ipoteza cea mai defavorabilă, ținând seama de suprapunerea simultană a eforturilor (presiunii hidrodinamice și hidrostatice la nivelul maxim, pod de gheață, etc.). Alcătuirea treverselor sau digurilor de închidere din gabioane se face identic ca la digurile longitudinale (fig. 70).

În cazul în care nu se dispune de fascine, cât și în cazul când nivelul apei variază, riscând ca nivelul superior al fascinelor să rămână deasupra apelor, în loc de saltelele din fascine se vor folosi saltelele din gabioane.

Dacă se dispune de bolovani de râu local sau costul acestora e mai redus, în loc de anrocamente se pot folosi gabioanele din plasă de sârmă, care sunt mai stabile și mai rigide decât anrocamentele din piatră brută.

Determinarea dimensiunii medii a pietrei din anrocamente se face utilizând tabelul 7.2 (formula 7.7 și 7.10). Lungimea saltelei de fascine sau din plase de sârmă ( $L_1$  și  $L_2$ ) în fața și spatele masivului de anrocamente se determină cu formula (7.1). În această formulă variază numai valoarea afuierei maxime ( $h_{af}$ ) care trebuie calculată separat pentru  $L_1$  și  $L_2$ .

Tipurile constructive de diguri de închidere sunt reprezentate în fig. 71, iar traversele de colmetare în fig. 72.

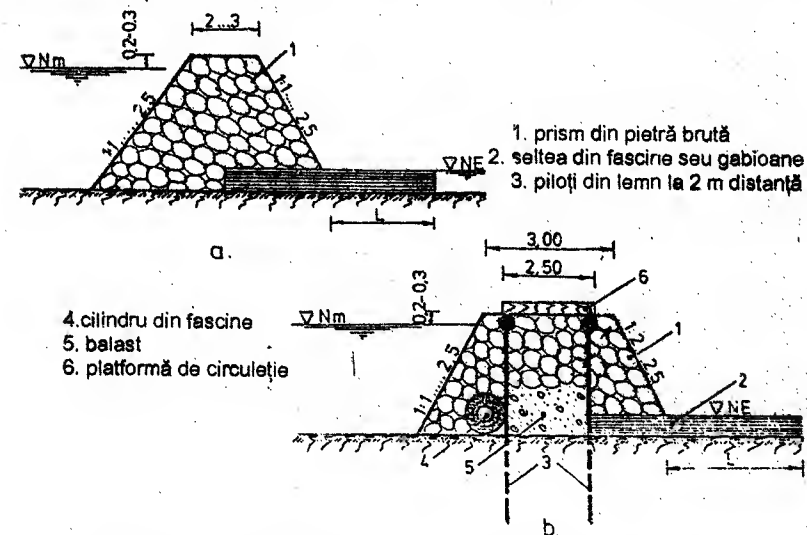


Fig. 71 Diguri de închidere a albiilor. a) din anrocamente pe saltea; b) din anrocamente pe saltea și piloți

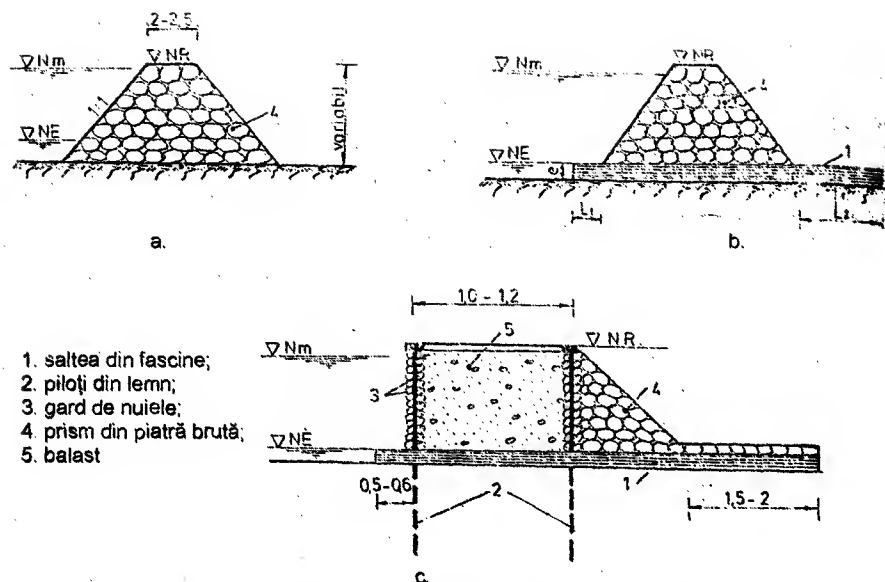


Fig. 72 Traverse de colmatare sau compartimentare  
a) din anrocamente; b) din anrocamente pe saltea;  
c) din garduri de nuiete și anrocamente.

Secțiunea din fig. 71 a), se poate utiliza pe sectoarele de râu unde adâncimea de afuiere este neglijabilă, iar secțiunea din fig. 71 b), se poate folosi pe sectoarele de râu unde afuienile sunt mari și foarte mari.

Traversele din fig. 72 a), se pot utiliza pe sectoarele de râu pe care se produc afuieri foarte mici, iar cele din fig. 72 b), pe sectoarele de râu cu fundul afuiabil.

Traversa din fig. 72 c) se va utiliza numai pe sectoare de râu pe care transportul de aluviuni este important, astfel ca în 1....2 ani lucrările să poată fi colmatate.

#### 6.4.3. EPIURI SAU PINTENI

Epiunile sau pintenii sunt lucrări transversale care se întind dinspre mal spre firul apei pentru a ajuta la reducerea lățimii albiei prin colmatările care se produc între ele.

Epiunile se folosesc în mod curent pentru:

- calibrarea albiei în vederea realizării secțiunii de regularizare;
- refacerea și protecția malurilor surpate;
- îndepărtarea bancurilor și îmbunătățirea traversadelor;
- activarea unuia dintre brațe și închiderea brațelor secundare;
- dirijarea curentului din zona malurilor spre axul dinamic pentru a opri erodarea acestora.

Delimitarea viitorului mal se face amplasând capul epiunilor dinspre firul apei pe o linie continuă. Deoarece prin efectul de stăvilire a apei epiunile produc afuiere

fundului, ele se vor proiecta cu o bază elastică din saltea de fascine sau gabioane, care să poată urmări adâncirea fundului și să reziste la afuiere.

Prin îngustarea albiei de către epiu, vitezele se măresc și produc afuieri importante la capul acestuia de aceea se recomandă întărirea capului în sens transversal pe o lungime de cca 5 m, cu 1,5....2 ori lățimea coronamentului.

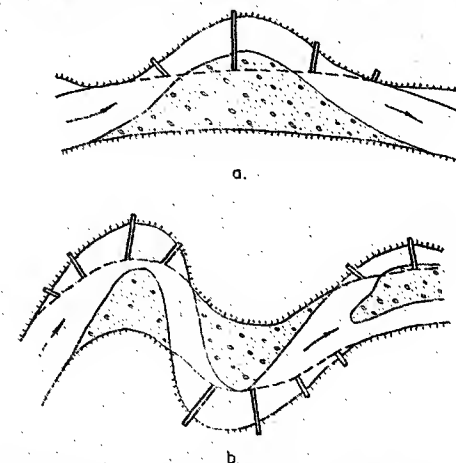


Fig. 73 Scheme de amenajare a cursurilor de apă cu epiuri

Pentru preântâmpinarea afuierii, fundația capului se așează pe o saltea care va depăși construcția atât spre amonte cât și spre aval cu circa 5 m și cu circa 8 m spre talveg.

Pentru a se preântâmpina afuierea albiei prin deversarea epiunilor, taluzul aval se va face mai dulce decât cel din amonte, sau în trepte.

Pentru a fi ferite de spălare în zona de încastrare în mal, epiunile se vor prevedea cu o încastrare de 8....10 m, după natura terenului din care este contruit malul.

Epiunile pot fi:

a) submersibile, în care caz coronamentul va avea o înclinare de la mal spre firul albiei astfel:

- la rădăcină, 1:10....1:25;
- corpul 1:100....1:300;
- capul, 1:3....2:8.

b) insubmersibile, în trepte, în care caz coronamentul va fi orizontal.

În cazul când se proiectează epiuri insubmersibile, se recomandă ca executarea lor să se facă pe etape. În prima etapă se vor prevedea submersibile, urmând ca completarea lor la cotă să se facă după ce s-au colmatat pe înălțimea din prima etapă.

Epiul cu capul situat sub nivelul apelor mici - epiu parțial înecat, cât și epiul înecat se vor proiecta când se urmărește stabilizarea albiei minore la nivelul apelor mici.

Coronamentul nu va depăși cota malului deoarece se pot produce schimbări dăunătoare în curgerea apei la viituri, stabilindu-se între nivelul apelor mici și nivelul apelor medii

Salteaua pentru preluarea afuierrilor va fi prelungită atât spre firul apei, cât și spre aval cu o lungime  $L$  dată de relația 7.1

Afuierea  $h_{af}$  de la capătul epiunilor se va calcula cu relația

$$h_{af} = k_d k_m k_s h_0$$

unde:

$k_d$  - este coeficientul de înclinare al epiului față de direcția principală de curgere;

$k_m$  - coeficientul unghiului de înclinare a taluzului epiului;

$k_s$  - coeficientul ce ține cont de gradul de strângere a secțiunii de curgere;

$h_0$  - adâncimea medie a curentului înainte de strângere

Gradul de strângere se determină prin raportul dintre debitul barot  $Q_0$  și debitul total  $Q$ . Pentru albiile de nisip, cu îngustarea într-o singură parte, coeficienții  $k_d$ ,  $k_m$ , și  $k_s$  sunt dați în tabelul anexat.

Diametrul mediu stabil al anrocamentelor cu care se protejează capul epiunilor se poate deduce din relația:

$$v_{cr} = 1,15 \sqrt{g} \sqrt{\frac{11}{\alpha}} (hd)^{0,25}$$

unde:  $g$  - accelerația gravitațională (9,81 m/s<sup>2</sup>);

$\alpha$  - coeficient egal cu 1,35 ... 1,40;

$h$  - adâncimea apei (m);

$d$  - diametrul mediu stabil al pietrei (m).

Tabel cu valorile coeficienților  $k_d$ ,  $k_m$ , și  $k_s$

Unghiul de înclinare epiului	$k_d$	cotangenta unghiului taluzului epiului	$k_m$	gradul de strângere	$k_s$
30°	1,18	0,00	1,00	0,10	2,00
60°	1,07	0,50	0,91	0,20	2,65
90°	1,00	1,00	0,85	0,30	3,22
120°	0,94	1,50	0,83	0,40	3,45
150°	0,84	2,00	0,61	0,50	3,67
-	-	3,00	0,50	0,60	3,87
-	-	-	-	0,70	4,06
-	-	-	-	0,80	4,20

Amplasarea epiunilor se poate face:

- perpendicular pe curent;

- înclinat (orientat spre amonte) sub un unghi cu direcția generală a curentului:

$\alpha = 70^\circ \dots 75^\circ$  când malurile sunt rectilinii;

$\alpha = 70^\circ \dots 80^\circ$  când malul este concav;

$\alpha = 85^\circ \dots 90^\circ$  când malul este convex.

Se recomandă ca  $\alpha$  să fie mai mare de  $45^\circ$ ;

- declinat (orientat spre aval), în care caz unghiul față de direcția curentului se va alege între  $95^\circ \dots 105^\circ$  (fig. 74, 75 și 76).

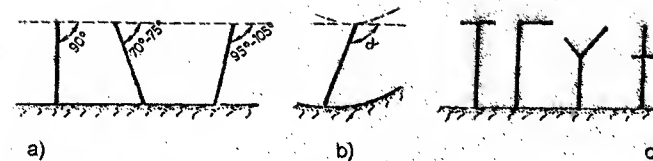


Fig. 74 Tipuri de așezare a epiunilor.  
a), b) - drepte; c) - cu traverse.

Epiunile normale, fiind mai scurte, sunt cele mai economice.

Epiunile înclinate favorizează cel mai mult împotmolirea și dirijează curentul de suprafață spre mijlocul albiei. Epiurile declinate dirijează curentul spre maluri, amenințându-le cu afuierea, de aceea nu prea se recomandă.

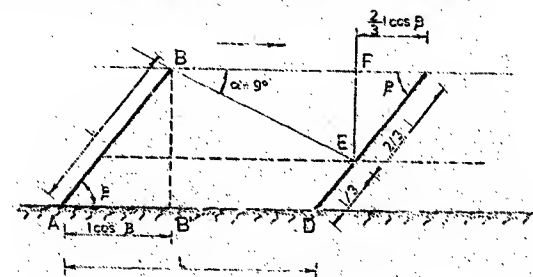


Fig. 75 Epiuri declinate

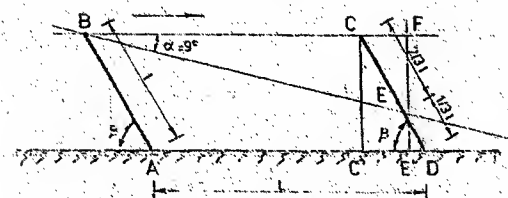


Fig. 76 Epiuri înclinate

Distanța dintre epiuri se stabilește pe baza cercetărilor teoretice, combinate cu încercări pe modele.

Punând condiția ca incidența curentului deviat în epiul următor din aval să se facă la  $1/3 l$ , măsurat de la mal, pentru a avea garanția că epiunile nu vor fi afuiate la rădăcină

și știind că, curentul deviat face un unghi de  $6^\circ \dots 9^\circ$  cu curentul principal, distanța dintre epiuri se poate deduce din fig. 75 și 76.

Formula generală pentru determinarea distanței dintre epiuri pentru a avea garanția că rădăcina epiurilor nu va fi afuiată, este:

$$L = 4,23 l \sin \beta + 2/3 l \cos \beta$$

Semnul minus se ia pentru epiurile înclinate, iar semnul plus pentru cele declinate. Pentru epiurile perpendiculare pe mal,  $L = 4 l$ .

Când epiunile se amplasează în curbă, unghiul se ia în raport cu tangentele la curbă în vârful epiurilor.

Din practică, orientativ se recomandă următoarele distanțe:

- în concepție;  $L = br$ ;
- pe malurile convexe;  $L = (1,5 \dots 2)br$ ;
- în zona de trecere de la o curbă la un aliniament;  $L = (1/2 \dots 3/4)br$ ;

unde:

$L$  este distanța dintre epiuri;

$br$  este lățimea traseului regularizat.

Când dintr-un studiu tehnico-economic rezultă necesitatea etapizării lucrărilor de regularizare, în prima fază se vor prevedea epiuri la distanța de  $4l$ , cu posibilitatea de îndesire a lor ulterioară.

Nu se recomandă folosirea izolată a epiurilor deoarece prin construcția lor conduc la înrutățirea condițiilor de curgere în aval, dar și în amonte pe o distanță apreciabilă.

Epiurile nu se folosesc în curbe cu raze mici, deoarece nu dau rezultate prea bune și în astfel de situații se utilizează digurile longitudinale cu traverse de colmatare.

Nu se vor folosi epiuri în zona de trecere de la aliniament la curbă, pentru că se consideră neeconomice. În aceste cazuri se prevăd diguri de dirijare cu traversă de legătură la cap.

Dacă malurile sunt afuiabile și direcția curenților la diferite niveluri este variabilă, se va prevedea și o scurtă apărare în amonte, eventual și în aval de epiuri, pe 5...10 m lungime. La malurile neinundabile, consolidarea va depăși cu 0,5 m nivelul apelor mari. În cazul malurilor inundabile, consolidarea malurilor se va prelungi și pe partea orizontală a malului pe o fâșie de 2...3 m lățime.

Dimensionarea epiurilor se va face ținându-se seama de condițiile de execuție și de întreținere, de circulația pietonilor și eventual de transportul materialelor de la mal spre firul epei peste epiul în construcție.

Dimensionarea la stabilitatea generală se face ca și la digurile transversale și traverse.

Din punct de vedere constructiv epiurile se execută din aceleași elemente ca și digurile transversale.

Saltelele de fascine (fig. 77) vor fi orientate față de direcția curentului principal al râului astfel:

- saltelele tip S.1. (45 cm) și S.2. (60 cm) se vor orienta astfel ca stratul joantiv să fie paralel cu direcția de curgere în zonele L.1 și L.2 și perpendicular pe direcția de curgere în zona L.3.

- la saltelele tip S.3 (75 cm) și S.4 (1,0 m) având două straturi joantive, nu are mare importanță orientarea lor.

Pentru a se evita antrenarea depunerilor dintre epiuri de către epe, acestea vor fi protejate prin garduri de nuiele verzi sau plantații, ce se vor prevedea la prima fază de proiectare.

Avantajele epiurilor față de digurile longitudinale constă în aceea că:

- la o îngustare a albiei prin epiuri, lățimea curentului principal al râului poate fi ulterior modificată, ceea ce la diguri nu mai este posibil;
- epiurile sunt mai ieftine decât digurile.

Dezavantajul epiurilor constă în faptul că spațiul dintre epiuri nu se colmatează uniform, rămânând goluri între ele, iar curentul dintre acestea este lăsat mai mult sau mai puțin liber. Nu se recomandă proiectarea de epiuri prea lungi deoarece curentul este proiectat brusc spre malul opus, punându-l în pericol pe acesta sau o eventuală cale de pod.

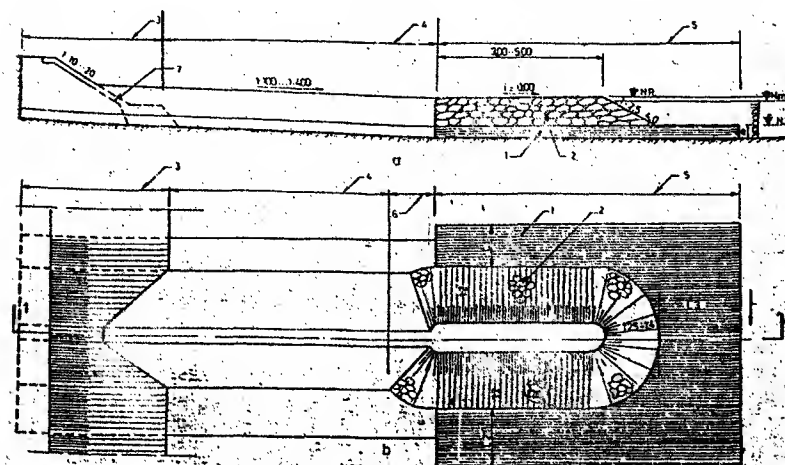


Fig. 77 Epiu.

a) secțiune longitudinală, b) vedere în plan

1. saltea din fascine sau gabioane; 2. prismă din piatră brută;
3. rădăcina epiului; 4. corpul epiului; 5. capul epiului;
6. racordarea într-un corp și cap de epiu; 7. apărare de mal.

#### 6.4.4. PRAGURI DE FUND ȘI BARAJE DE RETINERE A ALUVIUNILOR

Pragurile de fund se folosesc acolo unde fundul prezintă adâncimi mari din cauza unei intense eroziuni a apei, pentru apărarea împotriva afuierii malurilor digurilor longitudinale sau a capului epiurilor, cât și pentru a reduce viteza apei la cursurile de epă care transportă multe aluviuni.

În acest din urmă caz se va proiecta un profil longitudinal în trepte, fiecare treaptă reprezentând un prag de fund. Distanța dintre lucrări la o înălțime  $h$  aleasă, se determină conform relației:

$$L = \frac{h}{i_t - i_n}$$

în care:

- $L$  - este distanța dintre lucrări (m);
- $h$  - înălțimea aleasă a lucrării (m);
- $i_t$  - panta naturală a fundului albiei;
- $i_n$  - panta de compensație sau echilibru;

Pragurile se proiectează pe toată lățimea albiei de la un mal la altul, având coronamentul mai ridicat către maluri decât spre finul apei, pentru a permite scurgerea apelor la niveluri mici.

Pragurile de fund pot fi utilizate și pentru înălțarea fundului albiei în jurul pilelor unui pod atunci când afuierile avansează periculos.

În unele cazuri se proiectează praguri de fund numai pe o porțiune din albie, pentru a realiza forma voită a secțiunii de curgere. Aceste praguri se mai numesc și epiuri înecate sau de fund. Coronamentul pragurilor de fund se va proiecta în general la nivelul fundului albiei proiectate. Când coronamentul depășește cota superioară a fundului albiei, în vederea reținerii aluviunilor transportate, pragurile se numesc baraje de reținere a aluviunilor. Aceste baraje se fac pe cursurile de apă cu regim torențial, pentru consolidarea fundului, sau pe râurile navigabile, pentru ridicarea cotei profilului longitudinal.

Pentru a obține rezultatele cele mai favorabile, amplasarea pragurilor de fund în curbe se va face astfel, primul la începutul curbei, ultimul la sfârșitul curbei, iar celelalte praguri se așează la distanța de 1,5 ori lățimea albiei la fund.

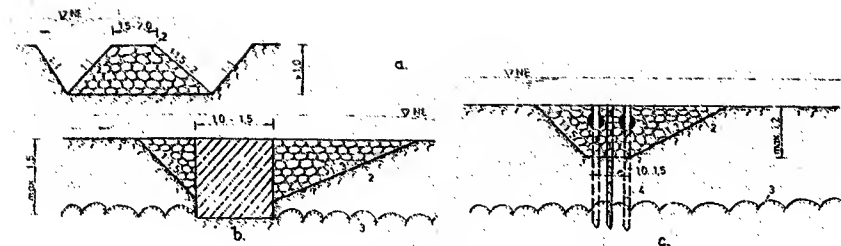
Pentru a rezista acțiunii apelor, pragurile de fund se vor proiecta cu o încăstrare în mal de 3...5 m, iar contra afuierei în aval se vor prevedea saltele de fascine pe o lungime de  $3,2h + 2e$ . În cazul afuierilor puternice acestea se vor asigura cu palplanșe sau cu piloți.

Dimensionarea pragurilor se face identic ca la traversele de înghidire. Nu se recomandă folosirea bolovanilor de râu, decât în cazul când se folosesc ca elemente constructive în cutiile gabioanelor.

Tipurile de praguri de fund mai des utilizate sunt cele prezentate în figura 78, cu următoarele recomandări:

- a) - se folosește pe râuri cu viteză sub 2 m/s și afuieri foarte mici;
- b) - se poate utiliza când roca de bază este relativ la suprafață (sub 1,5 m);
- c) - se folosește când se produc afuieri importante, peste 1,0 m;
- d) - se folosește la prevenirea producerii afuierilor în jurul pilelor și culeelor podurilor noi proiectate, la stabilizarea albiilor cursurilor de apă cu un proces avansat de eroziune în jurul infrastructurii podurilor existente.

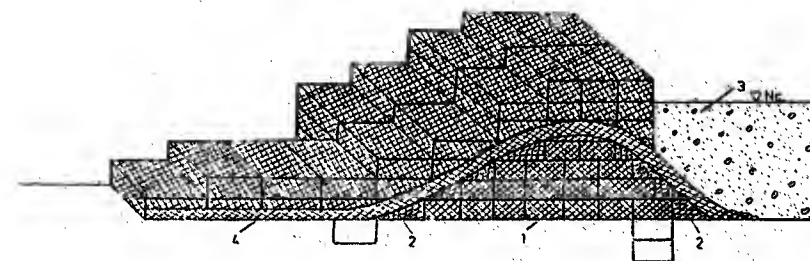
Barajele de reținere a aluviunilor se execută din zidărie uscată sau cu mortar, căsoaie de lemn, gabioane, beton, etc. Pentru o înțținere mai ușoară, înălțimea lor se va limita la 2...4 m. În figura 79, este prezentat un baraj de reținere din gabioane.



1. Baza simplă în trepte
2. Panta simplă în trepte
3. Panta în trepte
4. Panta în trepte
5. Panta în trepte
6. Saltea din fascine

Fig. 78. Praguri de fund

- a) din anrocamente; b) din beton și anrocamente;
- c) din palplanșe și anrocamente; d) din gabioane.



- 1: gabioane cutii;
2. anrocamente din piatră brută
3. aluviuni; 4. saltea din gabioane.

Fig. 79 Baraj de reținere a aluviunilor

## 7 CALCULE DE DIMENSIONARE ȘI STABILITATE

Capitolul cuprinde principii și recomandări pentru dimensionarea elementelor lucrărilor de apărare și stabilitatea acestora ca:

- dimensionarea saltelei și pietrei; ✓
- dimensionarea îmbrăcămintilor la:
  - acțiunea curentului de apă; ✓
  - acțiunea valurilor; ✓
  - acțiunea gheții; ✓
- filtru de protecție; ✓
- stabilitatea îmbrăcămintilor la plutire și alunecare; ✓
- stabilitatea apărărilor de mal la alunecare; ✓
- stabilitatea zidului de sprijin la alunecare; ✓

### 7.1: DIMENSIONAREA SALTEI ȘI A PIETREI

7.1.1. Lățimea maximă a saltelei din fascine sau din gabioane în fața prismului din piatră brută trebuie să fie suficientă pentru a realiza, după afuiere, o pantă până la maxim 1:3.

Lățimea se calculează cu formula:

$$L = 2e + 3,2h_1 \quad (7.1)$$

unde:

L este lățimea liberă minimă a saltelei în fața prismului din piatră brută;  
e - grosimea saltelei din fascine, care se stabilește conform tabelului 7.1;

$h_1$  - afuierea locală considerată sub linia fundului albiei

$$h_1 = h_{af} - h_{am} \text{ (m)}$$

$h_{af}$  - adâncimea maximă probabilă după afuiere;

$h_{am}$  - adâncimea normală în regim natural, în secțiunea amonte.

Calculul adâncimii maxime probabile de afuiere se face cu una din formulele:

$$\frac{h_{af}}{h_{am}} = \left( \frac{B_1}{B_2} \right)^{\frac{9}{14}} \quad 0,6428 \quad (7.2)$$

sau

$$\frac{h_{af}}{h_{am}} = \left( \frac{B_1}{B_2} \right)^{\frac{8}{7}} \quad 0,857 \quad (7.3)$$

în care:

indicii am și af, se referă la secțiunea amonte și respectiv la cea îngustă, unde se produce afuierea;

$B_1$  - lățimea albiei la oglinda apei în secțiunea din amonte (m);

$B_2$  - lățimea albiei îngustată la nivelul coronamentului albiei regularizate (m).

Tabelul 7.1.  
GROSIMEA SALTEI ÎN FUNCȚIE DE ADÂNCIMEA  
ȘI VITEZA APEI LA DEBITUL DE CALCUL

Tipul saltelei	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>
Grosimea saltelei (cm)	45	60	75	100
Adâncimea medie a apei (m)	< 4,00 m	< 6,00 m	< 7,00 m	> 7,00 m
viteza medie a curentului (m/s)	< 2,50	< 3,50	< 3,50	< 3,50

7.1.2. Dimensionarea pietrei se deduce din relația de echilibru limită la alunecare.

a) Pentru un cub cu latura d (d cub)

$$d^3 (\gamma_p - \gamma_a) f - \gamma_a \frac{v_f^2}{2g} d^2 f = \gamma_a \frac{v_f^2}{2g} d^2 \quad (7.4)$$

unde:

f este coeficientul de frecare dintre anrocamente și fundul albiei;

$v_f$  - viteza la fundul albiei ( $v_f = m v_m$ );

m - 0,5...0,8, în medie m = 0,7

Din relația de mai sus se deduce d cub

$$d_{cub} = \frac{\gamma_a v_f^2 (f + 1)}{2g (\gamma_p - \gamma_a) f} \quad (7.5)$$

pentru  $f = 0,5$ ,  $\gamma_a = 1 \text{ t/m}^3$ ,  $\gamma_p = 2,65 \text{ t/m}^3$ , rezultă

$$d_{cub} = 0,092 \cdot 5 v_f^2 \quad (7.6)$$

Înlocuind  $v_f = 0,7 v_m$ , rezultă

$$d_{cub} = 0,045 \cdot 5 v_m^2 \quad (7.7)$$

unde  $v_m$  este viteza medie la debitul de calcul (m/s).

b) Diametrul unei pietre sferice se deduce din echivalarea volumului sferic cu al cubului:

$$d^3 = \frac{4}{3} \pi r^3 \quad (7.8)$$

$$r = \sqrt[3]{0,24} = 0,62d \quad (7.9)$$

$$d_{sf} = 2r = 1,24d = 0,056 \cdot 4 v_m^2 \quad (7.10)$$



Cu aceste formule s-a întocmit tabelul 7.2, care dă dimensiunile pietrei în funcție de viteză.

Tabelul 7.2.  
DIMENSIONAREA PIETREI ȘI ANROCAMENTELOR ÎN FUNCȚIE  
DE VITEZA MEDIE A CURENTULUI, CU FORMULELE 7.7 ȘI 7.10

$v_m$ (m/s)	$d_{cub}$ (m)	$d_{sfel}$ (m)	Volum pe bucată (m <sup>3</sup> )	Greutatea (kN)	Greutatea (kg)
1,0	0,05	0,06	0,000125	0,000326	0,033
1,5	0,10	0,13	0,001	0,026	2,65
2,0	0,18	0,23	0,005832	0,1516	15,5
2,5	0,29	0,35	0,0243	0,6318	64,5
3,0	0,41	0,51	0,0689	1,7914	182
3,5	0,55	0,69	0,166375	4,3264	440
4,0	0,73	0,90	0,389	10,114	1030
4,5	0,92	1,14	0,7787	20,2462	2060
5,0	1,14	1,40	1,48154	38,519	3940

Dacă din calcul rezultă o valoare de 15 cm, se adoptă ca minimă această valoare.

Din aceste formule, reiese că la viteze de peste 5 m/s rezultă dimensiuni ale anrocamentelor de peste 1,0 m latura sau diametrul, ceea ce face ca manipularea lor să fie greoaie, dacă nu chiar imposibilă. Din această cauză, peste viteza de 5 m/s se recomandă ca apărățile de mal să se facă cu gabioane sau cu ziduri de sprijin.

Din cauza forme rotunjite, bolovanii de râu, rezistă la viteze mai mici decât piatra brută de carieră și de aceea, pentru o anumită viteză de calcul, sunt necesare volume mai mari de lucrări, care duc la scumpirea lor.

Pentru aceasta se recomandă ca bolovanii de râu să se utilizeze numai dacă se găsesc la fața locului în cantități mari.

Taluzul prismului din anrocamente va fi de 1 : 1,25 pentru anrocamente din piatră brută și de 1 : 1,5 la cele din bolovani de râu.

Stabilitatea apărării de mal poate fi compromisă prin afuierea bazei sau prin spălarea apărării de către curenți și valuri. Verificarea stabilității se poate face ținând seama de valorile maxime admisibile ale forței de antrenare pentru diferitele elemente întrebuițate ce alcătuiesc apărarea.

Forța de antrenare a curentului, exercitată asupra perimetrului ud al secțiunii transversale a albiei, se calculează cu relația:

$$f_a = \gamma_a h_m i \quad (6.11)$$

în care:

- $\gamma_a$  - greutatea specifică a apei (kgf/m<sup>3</sup>);
- $h_m$  - adâncimea medie a apei în secțiune (m);
- $i$  - panta hidrografică a albiei;
- $f_a$  - forța de antrenare pe unitatea de suprafață (kgf/m<sup>2</sup>).

Pentru diferite pământuri și apărări de mal, valorile limită de neerodare ale vitezei medii ( $v_{m,n}$ ) și ale forței de antrenare ( $f_a$ ) se găsesc în tabelele 7.3 și 7.4. Valorile sunt orientative. Forța de antrenare maximă pe taluz este:

$$f_{a,max,taluz} = 0,75 \gamma_a h_s i \quad (7.12)$$

unde  $h_s$  este adâncimea apei la piciorul taluzului.

Tabelul 7.3

VALORILE MAXIME ADMISIBILE ALE FORȚEI UNITARE DE ANTRENARE PENTRU  
DIFERITE TERENURI ȘI ÎMBRĂCĂMINȚI ALE MALULUI ȘI TALUZULUI

Nr. crt.	Natura terenului sau a îmbrăcămînții	$f_a$ N/m <sup>2</sup> (kgf/m <sup>2</sup> )
1.	Nisip cuarțos obișnuit, cu diametrul de 0,20...0,40 mm	1,76...1,96 (0,18...0,20)
2.	Nisip cuarțos obișnuit, cu diametrul de 0,40...1,00 mm	2,45...2,94 (0,25...0,30)
3.	Nisip cuarțos obișnuit, cu diametrul până la 2,00 mm	3,92 (0,40)
4.	Amestec de nisip mare	5,88...6,81 (0,60...0,70)
5.	Nisip bine așezat și pietriș mățuit, acțiune de lungă durată	7,85...8,82 (0,80...0,90)
6.	Nisip bine așezat și pietriș mățuit, acțiune de scurtă durată, la viituri	9,80...11,76 (1,00...1,20)
7.	Lehm (lut) nisipos, curat	10,78 (1,10)
8.	Pietriș cuarțos rotund cu diametrul de 0,50...1,50 cm	12,74 (1,25)
9.	Pietriș amestecat cu lut, acțiune de lungă durată	14,71 (1,50)
10.	Pietriș amestecat cu lut, acțiune de scurtă durată	19,61 (2,00)
11.	Pietriș cuarțos mare, cu diametrul de 4...5 cm	47,00 (4,80)
12.	Prundiș calcaros, plat, cu grosime de 1...2 cm și lungimea de 4...6 cm	54,90 (5,60)
13.	Taluzuri însămânțate cu iarbă	9,80...11,76 (1,00...1,20)
14.	Brazde, acțiune de scurtă durată	19,41...29,42 (2,00...3,00)
15.	Brazde, acțiune de lungă durată	14,71...17,45 (1,50...1,80)
16.	Brazde fixate cu țărui, acțiune de lungă durată	24,51...29,42 (2,50...3,00)
17.	Nisip mare între cleionaje	9,80 (1,00)
18.	Pietriș între cleionaje	12,74...39,22 (1,25...4,00)

19.	Garduri din nulele simple	39,22 (4,00)
20.	Cleionaje oblice pe direcția curentului	39,22...49,03 (4,00...5,00)
21.	Saltele din fascine	29,42...68,44 (3,00...7,00)
22.	Anrocamente mari fixate în gârdulețe, așezate pe filtru invers	98,06...117,67 (10,00...12,00)
23.	Îmbrăcăminte din plăci de beton armat, funcție de grosime (0,04...0,20 m)	29,42...68,64 (3,00...7,00)
24.	Pereu din dale de beton (0,06...0,20 m), funcție de greutate (suprafață)	58,84...147,10 (6,00...15,00)
25.	Pereu uscat din moloane de 0,25...0,30 m, pe filtru invers	78,44...56,88 (8,00...16,00)
26.	Anrocamente cu diametrul mediu minim de 0,30 m	156,88...235,32 (16,00...24,00)
27.	Apărări cu gabioane (piatră de dimensiuni mici)	156,00...196,12 (16,00...20,00)
28.	Apărări cu gabioane (piatră de dimensiuni mari)	245,15...1471,00 (25,00...150,00)
29.	Pereți continui de piloni din lemn sau căsoaie (apărați la bază contra afuierii)	150,00 (16,00)
30.	Căsoaie	156,00...480,66 (16,00...1000,00)
31.	Pereți din palplanșe de lemn (apărați la bază contra afuierii)	196,12...235,32 (20,00...24,00)
32.	Zidărie din piatră	196,12...490,32 (20,00...50,00)
33.	Îmbrăcăminte din beton monolit	274,20...548,40 (30,00...60,00)
34.	Îmbrăcăminte din beton armat	784,53...980,66 (80,00...100,00)

## 7.2 CALCULUL ELEMENTELOR DE APĂRARE

7.2.1. Stabilitatea și durabilitatea îmbrăcăminților depind de tipul și dimensiunile alese. La dimensionarea protecțiilor se va ține seama de factorii exteriori care le solicită și anume:

- viteza curentului;
- secțiunea valurilor;
- secțiunea gheții.

Astfel, hotărâtoare sunt:

- la cursurile naturale, viteza curentului și acțiunea gheții;
- la lacuri - înălțimea valurilor provocate de vânt;
- la canale și râuri navigabile, relativ înguste, valurile create de nave (valuri produse de elice și valuri de siaz).

Viteza curentului de curgere provoacă un efect de uzură a protecțiilor și de antrenare a elementelor izolate. Depășirea vitezelor admisibile conduce la distrugerea îmbrăcăminților, mai ales la protecțiile din anrocamente și pereuri rugoase.

$$C = (K_g / m^2) = r h_i - \text{loc 3} \frac{4}{100} =$$

La dimensionarea protecțiilor se va ține seama de vitezele medii admisibile din tabelul 7.4

Tabelul 7.4

### VALORILE VITEZELOR MEDII ADMISIBILE PENTRU DIFERITE TIPURI DE ÎMBRĂCĂMINȚI

Nr. crt.	Tipul îmbrăcăminții	$h_m = 0,40$ (m)	$h_m = 1,00$ (m)	$h_m = 2,00$ (m)	$h_m = 3,00$ (m)
1.	Brăzdure pe lat	0,90	1,20	1,30	1,40
2.	Brăzdure pe muchie	1,50	1,80	2,00	2,20
3.	Bolovani și bolovăniș:				
	- bolovani mici de 0,075...0,10 m	2,0...2,45	2,4...2,8	2,75...3,2	3,3...3,8
	- bolovani mijlocii de 0,10...0,15 m	2,45...3,0	2,8...3,35	3,2...3,75	3,5...4,1
	- bolovani mari de 0,15...0,20 m	3,0...3,5	3,35...3,8	3,75...4,3	4,1...4,65
	- bolovăniș mic de 0,2...0,3 m	3,5...3,85	3,8...4,35	4,3...4,7	4,65...4,9
	- bolovăniș mijlocii de 0,3...0,4 m	-	4,35...4,7	4,7...4,95	4,9...5,3
	- bolovăniș foarte mare 0,5 m	-	-	4,95...5,3	5,3...5,5
4.	Anrocamente în funcție de mărimea pietrei	la poziția	3 se aplică	coeficient	0,9
5.	Anrocamente din două straturi în garduri de nulele în funcție de mărimea pietrei	la poziția	3 se aplică	coeficient	1,1
6.	Pereu simplu din bolovani pe strat de piatră spartă de 5 cm, de:				
	0,15 m	2,0	2,5	3,0	3,5
	0,20 m	2,5	3,0	3,5	4,0
	0,25 m	3,0	3,5	4,0	4,5
7.	Pereu simplu din piatră brută pe strat de piatră spartă de 10 cm de:				
	0,15 m	2,5	3,0	3,5	3,8
	0,20 m	2,9	3,5	4,0	4,3
	0,25 m	3,5	4,0	4,5	5,0
8.	Pereu simplu din piatră cioplită, pe un strat de piatră spartă, de:				
	0,15 m	3,1	3,7	4,3	4,6
	0,20 m	3,6	4,3	5,0	5,4
	0,25 m	4,0	4,5	5,5	5,5
	0,30 m	4,0	5,0	6,0	6,0
9.	Pereu dublu din piatră, pe strat de bază de 15 cm și strat superior de:				
	20 cm	3,5	4,5	5,0	5,5
10.	Gabioane	4,2	5,0	5,7	6,2
11.	Saltele din fascine la grosimea $e = 0,50$ m	2,5	3,0	3,5	-
	alte grosimi	se aplică	coeficient	0,15 $\sqrt{e}$	-
12.	Împletituri din nulele verzi	1,8	2,2	2,5	2,8
13.	Iarbă proaspătă, netedă	0,6	0,8	0,9	1,0
14.	Iarbă proaspătă pe taluz	1,5	1,8	2,0	2,2
15.	Zidărie din piatră brută din roci				

$$e = 0,50 \quad | \quad 2,5 \quad | \quad 3,0 \quad | \quad 3,5 \quad |$$

alte grosimi

16.	calcaroase (min 100 kgf/cm <sup>2</sup> ) Zidărie din roci rezistente (min 3000 kgf/cm <sup>2</sup> )	3,0	3,5	4,0	4,5
17.	Beton și beton armat, marca.	6,5	8,0	10,0	12,0
	100	4,5	5,5	6,3	6,8
	150	6,1	7,3	8,4	9,1
	200	7,3	8,8	9,8	10,8
18.	Lemn	25,0	25,0	25,0	-

Îmbrăcămințile calculate la valurile provocate de vânt trebuie să reziste și la acțiunea curentului apei, de viteză  $v$  (m/s) potrivit relațiilor:

$$d \geq 0,04v^2 \text{ (m)} \quad (7.13)$$

$$\delta \geq 0,05 v^{2/3} \text{ (m)} \quad (7.14)$$

în care:

$d$  - este diametrul de calcul al blocului stabil;

$\delta$  - grosimea îmbrăcăminții (dalei) de beton.

### 7.3 ACȚIUNEA VALURILOR

7.3.1. Acțiunea valurilor generate de vânt este importantă mai ales pe marile lacuri de acumulare, pe aliniamentele lungi și în general pe orice suprafață mare de apă expusă vânturilor puternice pe lungimi mai mari de 2...3 km.

Cunoașterea elementelor caracteristice ale valurilor este necesară pentru dimensionarea construcțiilor de apărare relativ la:

- rezistența la șocuri;
- forța de alunecare;
- stabilirea înălțimii părții superioare a apărării.

Acțiunea valurilor asupra malurilor și taluzurilor se exercită prin presiunile și vitezele dezvoltate pe suprafața respectivă la deflarea, ridicarea și coborârea lor de pe acestea. Astfel, că valurile supun apărările la o acțiune hidrodinamică de izbire pe taluz și un efect de emersiune (ieșire), la retragere.

7.3.2. Factorii determinanți în procesul de formare a valurilor sunt: viteza vântului, durata de acțiune a vântului și întinderea suprafeței de apă (fetchul). La propagarea valurilor, o influență deosebită o au, relieful submarin, adâncimea și rogozitatea fundului.

a) Elementele principale ale valului sunt:

- lungimea  $L$  val, distanța dintre două creste sau tălpi succesive (m);
- înălțimea  $h$  val, distanța dintre creastă și talpă (m);
- perioada  $2T$ , timpul dintre momentele treceri printr-un punct fix a două creste sau două tălpi de val succesive (s);
- celentatea  $C$ , viteza de propagare a crestei valului (m/s);
- curbura valului  $h/L$ .

7.3.3. Pentru apele interioare, elementele valurilor (lungimea și înălțimea) se pot calcula cu relațiile:

$$2L = 0,304 w D^{1/2} \quad (7.15)$$

$$2h = 0,0208 w^{5/4} D^{1/3} \quad (7.16)$$

în care:  $2L$  este lungimea valului -  $L$  val (m);

$w$  - viteza vântului (m/s);

$D$  - fetch-ul, lungimea suprafeței de apă pe care bate vântul (km);

$2h$  - înălțimea valului -  $h$  val (m).

Relațiile sunt aplicate pentru ape cu, adâncimi mici, funduri orizontale, lățimi mici,

$3 < D < 30$  km, viteza vântului  $w = 5...15$  m/s.

Raportul dintre lungimea și înălțimea valului,  $2L/2h$ , pentru valurile de înălțime maximă, variază între:

- 8...12, pentru lacuri naturale, lacuri de acumulare și mări interioare;
- 12...25, pentru mări deschise și oceane.

a) Pentru ape cu  $D < 60$  km, înălțimea valului se poate determina și cu formula:

$$2h = 0,45\sqrt{D} + (0,75 - 0,3\sqrt{D}) \quad (7.17)$$

în care notațiile au aceleași semnificații ca la punctul 7.3.3.

b) Înălțimea valului și lungimea lui se modifică sub influența factorilor arătați la art. 7.3.2.

Pentru o gamă de valori a parametrilor:

- viteza vântului -  $w$  - (10; 20; 30) m/s;
- fetch-ul -  $D$  - (1; 5; 20) km;
- adâncimea apei -  $H_a$  - (1; 2; 3) m,

înălțimea valului  $h$  calculată se poate lua din tabelul 7.5.

Tabelul 7.5.

VALORILE ÎNĂLȚIMII VALULUI

$w_{10}$ (m/s)		$D = 1$ km			$D = 5$ km			$D = 20$ km			Obs.
	$H_a = 1$ (m)	$H_a = 2$ m	$H_a = 3$ m	$H_a = 1$ (m)	$H_a = 2$ m	$H_a = 3$ m	$H_a = 1$ (m)	$H_a = 2$ m	$H_a = 3$ m		
10	0,20	0,40	0,55	0,23	0,40	0,60	0,23	0,40	0,63	*	
20	0,40	0,50	0,78	0,40	0,65	0,90	0,40	0,65	0,90	**	
30	0,65	1,00	1,15	0,78	1,18	1,45	1,18	1,18	1,45		

\*) Pentru  $H_a > 3$  m se vor lua valorile corespunzătoare lui  $H_a = 3$  m.

\*\*)  $w_{10}$  este viteza vântului considerată la înălțimea de 10 m peste suprafața apei, pe direcția fetch-ului.

Astfel,  $w_{10} = w_A C$

în care:

$w_A$  este viteza vântului la înălțimea  $A$ ,

$C$  - coeficient

Pentru

$A$ (m)	2,00	6,50	10,00
$C$	1,25	1,05	1,00

c) Pentru apărările de maluri și la digurile de pe râurile interioare, la care lungimea totală a luciului de apă este mai mică de 1 km, se poate admite  $h_{val} = 0,50$  m, fără a se efectua calcule.

7.3.4. Suprainălțare nivelului mediu al valurilor față de nivelul liniștit este:

$$h_0 = \frac{\pi h_{val}^2}{4L_{val}} \quad (7.18)$$

unde:

$h_0$  este diferența de nivel dintre nivelul static și nivelul mediu al câmpului de valuri (m), fig. 80 a).

7.3.5. Acțiunea hidrodinamică.

Prin acțiunea de izbire pe taluz valul deferlat exercită presiuni dinamice asupra acestuia. Valoarea presiunii dinamice maxime ( $p$ ) în punctul de izbire este:

$$p_{max, val} = 3 \gamma_a h_{val} \quad (7.19)$$

unde:  $h_{val}$  este înălțimea valului -  $2h$  (m);

$\gamma_a$  - greutatea specifică a apei ( $t/m^3$ ).

7.3.6. Înălțimea până la care trebuie protejat malul este în funcție de cota la care se va ridica valul (fig. 80 a)

După izbire, are loc ridicarea până la înălțimea  $h$ , a valului pe taluz, față de nivelul inițial liniștit al apei și apoi retragerea acestuia.

Diagrama de distribuție a presiunii dinamice este prezentată în fig. 81. Distanțele  $e$  pe care se exercită presiunile sunt:

$e_1 = 0,025 S$ ;  $e_2 = 0,065 S$ ;  $e_3 = 0,053 S$ ;  $e_4 = 0,135 S$ , în care:

$$S = \frac{L_{val} \operatorname{ctg} \alpha}{2 \sqrt{\operatorname{ctg}^2 \alpha - 1}} \quad (7.20)$$

$$e_0 = \left( 0,2 + 0,018 \frac{L_{val}}{h_{val}} \right) H_a \quad (7.21)$$

în care:

$L_{val}$  este lungimea valului -  $2L$  (m);

$h_{val}$  - înălțimea valului -  $2h$  (m);

$H_a$  - adâncimea apei (m);

$\alpha$  - unghiul de înclinare a taluzului;

$e_0$  - distanța (adâncimea) dintre nivelul liniștit și punctul de izbire, de maximă presiune a valului pe taluz

Presiunea dinamică a valului pe taluz.

Pentru calcule aproximative se poate considera valoarea.

$$e_0 = 0,023 L_{val} \quad (7.22)$$

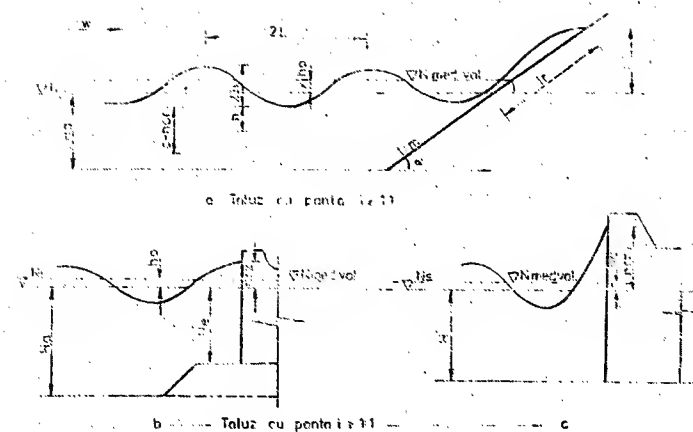


Fig. 80 Ridicarea valului pe taluz.

$h$  - înălțimea valului;  $2h$  - înălțimea undei;  $2L$  - lungimea undei;  $N_s$  - nivelul static;  $l_r$  - lungimea de ridicare a valului pe taluz;  $h_{cr}$  - adâncimea critică  $\approx 1,5 - 2 h_{val}$ ;  $H_a$  - adâncimea apei;  $H_a$  - înălțimea coloanei de apă în fața peretelui;  $h_{rz}$  - înălțimea de ridicare a valului pe peretele vertical.

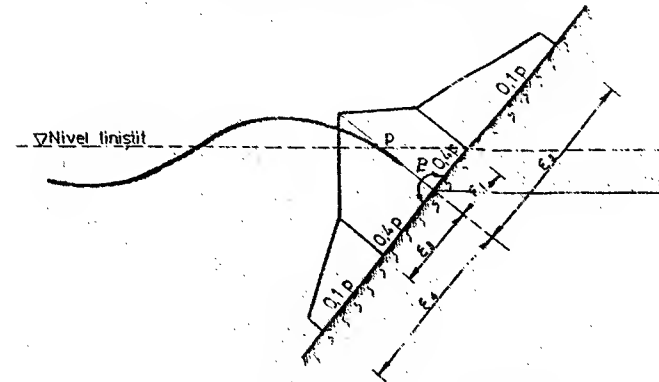


Fig. 81 Presiunea dinamică a valului pe taluz

a) Pentru maluri sau taluzuri de înclinare  $14^\circ < \alpha < 45^\circ$ , înălțimea maximă de ridicare  $h_r$  se determină cu formula:

$$h_r = 3,2 k h_{val} \operatorname{tg} \alpha \quad (7.23)$$

în care

$k$  este coeficientul în funcție de rugozitate, care se ia

= 1...1,25 pentru suprafețe netede (pereu din beton turnat pe loc sau dale)

= 1 pentru pereu zidit,

= 0,9 pentru înierbare,

= 0,77 pentru suprafețe rogoase (anrocamente din blocuri de piatră sau prisme din piatră brută)

$h_{val}$  - înălțimea valului 2h (m);

$\alpha$  - unghiul de înclinare a taluzului;

b) înălțimea  $h$ , de ridicare maximă pe taluz a valului, față de nivelul initial liniștit, se determină și cu relația

$$h = \frac{2kh_{val}}{m} \sqrt{\frac{L_{val}}{h_{val}}} \quad (7.24)$$

în care

$k$  este coeficientul în funcție de rugozitate, care se ia:

= 1,0 pentru îmbrăcăminte netedă, compactă, impermeabilă (beton asfaltic);

= 0,9 pentru beton (plăci rostuite)

= 0,8 pentru taluz neprotejat,

= 0,75...0,8 pentru pereu, zidărie de piatră;

= 0,60...0,65 pentru anrocamente rotunjite, bolovani;

= 0,55 pentru anrocamente cu muchii vii, piatră spartă;

= 0,50 pentru anrocamente masive (blocuri mari)

$h_{val}$  - înălțimea valului 2h (m);

$L_{val}$  - lungimea valului - 2L (m);

$m$  - cotangenta unghiului de înclinare a taluzului ( $\alpha$ ) cu orizontala;

$$\frac{L_{val}}{h_{val}} = 8...10$$

Față de relația 7.23, relația de mai sus ține seama de raportul  $L_{val}$  și  $h_{val}$ .

Pentru determinarea  $h_{val}$  se pot folosi și valorile din tabelul 7.5 sau nomogramele întocmite de Braslavski.

7.3.7. La construcții cu pereți verticali sau cu înclinarea >1:1, față de orizontală se deosebesc două situații:

- valul se sparge direct pe perete,

- valul se sparge în fața peretelui la o distanță  $L$  de acesta.

a) În prima situație (fig. 76 b), ridicarea crestei valului peste nivelul static al apei în momentul lovirii de perete este:

$$h_{\alpha} = 2h \left( 1,5 + \frac{\pi h^2}{4L} \right) \quad (7.25)$$

în care:

2h este înălțimea valului;

$L$  - 0,5 lungimea valului.

b) În a doua situație (fig. 80 c), ridicarea crestei valului peste nivelul static al apei, în momentul ciocnirii cu peretele, este:

$$h_{\alpha} = 1,5h + \frac{(0,75c + v)^2}{2g} \quad (7.26)$$

în care

$c$  este viteza de deplasare a valului de tranziție spart (m/s);

$v$  - viteza pe traiectorie a unei particule lichide care se determină cu relațiile:

$$c = \sqrt{gH_a} \quad (7.27)$$

$$v = h \sqrt{\frac{\pi g}{L} \operatorname{ctg} \frac{\pi H_a}{L}} \quad (7.28)$$

în care:

$g$  este accelerația gravitațională (m/s<sup>2</sup>);

$H_a$  - înălțimea coloanei de apă (m);

$H_l$  - înălțimea coloanei de apă în fața pereului (m);

$h$  - 0,5  $h_{val}$ ;

$L$  - 0,5  $L$ .

### 7.3.8. Efectul de emersiune

Prin retragerea valului se produce emersiunea (ieșirea) rapidă din apă a unei părți din îmbrăcăminte. În timp ce presiunea apei încetează pe fața exterioară a îmbrăcămintii, pe fața interioară dă naștere la o subpresiune ce acționează de jos în sus cu tendința de extracție a particulelor mărunte. Efectul poate fi anulat prin prevederea unui filtru de protecție și încărcarea taluzului cu o suprasarcină, respectiv cu greutatea stratului superior al îmbrăcămintii.

Contra presiunea dată de retragerea valului se poate considera: pentru anrocamente,

$$p_{an} = 0,21 h_{val} \quad (7.28.1)$$

pentru pereuri de piatră sau dale,

$$p_p = 0,178 h_{val} \quad (7.28.2)$$

Diametrul minim al pietrei utilizate pentru protecția taluzurilor atacate de valuri poate fi stabilit cu numeroase relații semiempirice:

a) Astfel, pentru:

- anrocamente aruncate,

$$d_{an} = \mu \frac{0,21 h_{val} \sqrt{1+m^2}}{\gamma_p - \gamma_a} \quad (7.29)$$

- piatră așezată regulat sub formă de pereu,

$$d_p = \mu \frac{0,178 h_{val} \sqrt{1+m^2}}{\gamma_p - \gamma_a} \quad (7.30)$$

unde:

$\mu$  este coeficientul de siguranță egal cu 1,2...1,5;

$\gamma_p$  - greutatea specifică a pietrei;

$\gamma_a$  - greutatea specifică a apei;

m - cotangenta unghiului de înclinare a taluzului

Pentru  $\gamma_b = 26,65 \text{ tf/m}^3 = 26 \text{ kN/m}^3$ ;  $\mu = 1,5$ ;  $m = 1,5$ , rezultă:

$$d_{an} = 0,23 h_{val} \quad (7.30.1)$$

$$d_p = 0,194 h_{val} \quad (7.30.2)$$

Se mai aplică în general formulele:

- pentru taluzuri cu  $m = 2 \dots 5$ ,

$$d_0 = \frac{k \sqrt{m^2 + 1}}{m + 2} \quad (7.31)$$

unde:

k este coeficientul pentru anrocamente

= 1,93, pentru  $L_{val} / h_{val} \leq 15$  și

= 2,04 pentru  $L_{val} / h_{val} > 15$ .

k este coeficientul pentru pereu și blocuri mari de piatră

= 1,7;

m - cotangenta unghiului de înclinare a taluzului.

- pentru taluzuri cu  $m = 1 \dots 3$ :

$$d_0 = \sqrt[3]{\frac{k}{h_{val}}} \frac{1}{\sqrt[3]{m^2 + 1}} \quad (7.32)$$

în care:

k este coeficient

= 0,017, pentru blocuri de piatră masive;

= 0,025, pentru anrocamente.

Grosimea pereunilor din beton pentru a rezista acțiunii valurilor se determină cu formula simplificată:

$$\delta = \frac{p_{val}}{2\sigma_a} \quad (7.33)$$

unde:

$\delta$  este grosimea pereului (m);

$p_{val} = 3 h_{val}$  - presiunea valului pe taluz în locul de izbire (tf/m);

$h_{val}$  - înălțimea valului - 2h (m);

$\sigma_a$  - presiunea admisibilă pe teren.

a) Grosimea minimă a plăcilor de beton se poate stabili cu relația:

$$\delta_m = c \frac{0,1 \gamma_b h_{val}}{(\gamma_b - \gamma_a) \sqrt{b \cos \alpha}} \quad (7.34)$$

în care:  $\delta_m$  este grosimea plăcii de beton (m);

c - coeficient de formă egal cu 1,25 ... 1,5 pentru înclinări ale taluzului între 1:1,5 ... 1:2;

$\gamma_b$  - greutatea specifică a betonului;

$\gamma_b$  - greutatea specifică a betonului;

$h_{val}$  - înălțimea valului - 2h;

b - latura plăcii, presupusă pătrată;

$\alpha$  - unghiul taluzului cu orizontala;

Grosimea minimă a plăcilor de beton pentru a se asigura stabilitatea din efectul de emersiune (la subpresiune) se determină orientativ cu formula:

$$\delta_m = k_s \frac{0,15 h_{val}}{(\gamma_b - \gamma_a) \cos \alpha} \sqrt[3]{\frac{L_{val}}{2(l + b)}} \quad (7.35)$$

în care:  $\delta_m$  este grosimea minimă a plăcii de beton (m);

$k_s$  - coeficient de siguranță egal cu 1,3;

$\gamma_b$  - greutatea specifică a betonului;

$\gamma_a$  - greutatea specifică a apei;

$\alpha$  - unghiul taluzului cu orizontala;

l - lungimea plăcii;

b - lățimea plăcii.

Formula este valabilă pentru  $m = 2 \dots 5$  și  $L_{val} / h_{val} = 8 \dots 15$ .

Îmbrăcămintele calculate la valurile de vânt trebuie să reziste și la acțiunea curentului apei de viteză v (m/s) potrivit relațiilor 7.13 și 7.14.

$$d = 0,04 v^2 \\ \delta = 0,05 v^{2/3}$$

în care:

d este diametrul de calcul al blocului stabil;

$\delta$  - grosimea îmbrăcăminții de beton.

*Înălțimea de siguranță suplimentară (garda)*

a) Din practica îndelungată a apărărilor de mal și terasamente se recomandă:

- la nivelul apei (debitul de calcul + remu), să se prevadă o înălțime de siguranță suplimentară, până la muchia malului, platformei drumului sau căii ferate

Valoarea minimă a acestei înălțimi este de 0,50 m și nu se aplică nivelului la debitul de verificare.

## 7.4. ACȚIUNEA GHEȚII

7.4.1. Acțiunea gheții asupra apărărilor de mal se manifestă sub mai multe forme:

- presiunea statică a câmpului de gheață;
- presiunea dinamică exercitată de ghețurile în mișcare antrenate de curentul de apă sau vânt;
- acțiunea de uzură a gheții;
- acțiunea verticală de smulgere;
- prinderea gheții de elementele apărării și distocarea lor;
- presiunea gheții în spatele apărării.

*Acțiunea statică a câmpului de gheață continuă*

Presiunea statică a gheții se produce atunci când datorită ridicării rapide a temperaturii aerului, stratul de gheață începe să se dilate. Forța de împingere depinde

de grosimea și întinderea câmpului de gheață, de gradientul de temperatură în masa acestuia, de rezistența gheții cristaline la sfărâmare.

Pentru o lungime a câmpului de gheață  $L < 50$  m, presiunea statică a gheții se poate determina cu formula empirică:

$$p_{g.s.} = 0,9d(t_0 + 1) \sqrt[3]{\frac{t_0}{s_0} (t_0 + 1)^2} \quad (7.36)$$

în care:

$d$  este grosimea câmpului de gheață (m);

$t_0$  - ridicarea maximă posibilă a temperaturii gheții în decurs de  $s_0$  ore și care se ia egală cu  $0,35 t$  ( $^{\circ}\text{C}$ );

$s_0$  - intervalul de timp (ore);

$t$  - ridicarea temperaturii aerului în același interval de timp ( $^{\circ}\text{C}$ );

În lipsa observațiilor meteorologice se poate lua

$$\frac{t_0}{s_0} = \frac{b}{t}$$

Pentru o lățime a câmpului de gheață  $L < 50$  m, măsurată perpendicular pe linia construcției până la malul opus, valoarea împingerii se poate calcula cu formula:

$$p_{g.s.} = 3,1 \frac{(t_0 + 1)^{1,67}}{0,88 t_0} \cdot t^{0,33} d \quad (7.37)$$

în care:

$p_{g.s.}$  este forța de împingere statică a gheții;

$t_0$  - temperatura inițială a gheții în grade (medie pe grosime) care se ia egală cu  $0,35 t$  din temperatura aerului la acea dată ( $^{\circ}\text{C}$ );

$t$  - raportul dintre creșterea temperaturii câmpului de gheață în intervalul de timp  $s$  și mărimea acestui interval, în ore. Analog ca mai sus, creșterea temperaturii câmpului de gheață poate fi egală cu  $0,35$  din creșterea temperaturii, în același interval.

$d$  - grosimea câmpului de gheață (m);

În cazul unei lățimi ( $l$ ) a câmpului de gheață  $L \geq 50$  m, valoarea  $p_{g.s.}$ , calculată cu relația de mai sus, se înmulțește cu un coeficient  $\psi$  conform tabelului 7.7.

Tabelul 7.7

VALORILE COEFICIENTULUI  $\psi$

$l$	50...75 m	75...100 m	100...150 m	> 150 m
$\psi$	0,9	0,8	0,7	0,6

a) Intervalul  $s$  (ore) trebuie să fie suficient de mare (4...6 ore) pentru ca încălzirea înregistrată a aerului să se poată transmite întregii mase de gheață și să se producă dilatația termică corespunzătoare.

b) Grosimea gheții ( $d$ ) în m se ia egală cu  $0,8$  din grosimea cea mai mare înregistrată în sectorul respectiv.

Pentru cursurile de apă din țara noastră, grosimea medie a podului de gheață este în jur de 30 cm, iar grosimea maximă atinge 70 cm.

Deoarece 8/9 din grosimea gheții se găsește sub nivelul apei, împingerile se vor considera la 0,4 h sub acest nivel care se stabilește în limitele hidrologice permise, în poziția cea mai defavorabilă pentru calculul construcției.

Presiunea statică a gheții se poate elimina complet prin spargerea acesteia, menținându-se un ochi de apă neacoperit.

Acțiunea dinamică a câmpului de sloiuri în stare liberă de plutire, masate în fața construcției de apărare. Componenta  $p_{g.s.}$  a împingerii câmpului de sloiuri care acționează în plan orizontal, perpendicular pe linia frontului construcției de apărare se calculează cu formula:

$$p_{g.d.} = A (p_1 + p_2 + p_3) \sin \alpha + p_4 \sin \beta \quad (7.38)$$

în care:

$A$  este suprafața câmpului de gheață ( $\text{m}^2$ );

$p_1$  - forța de frecare a curentului de apă, pe suprafața interioară a câmpului de sloiuri ( $\text{kgf/m}^2$ );

$p_2$  - forța de impuls a curentului pe marginea exterioară a câmpului de sloiuri ( $\text{kgf/m}^2$ );

$p_3$  - componenta greutatei proprii a sloiurilor după panta curentului ( $\text{kgf/m}^2$ );

$p_4$  - forța de frecare a vântului pe suprafața sloiurilor ( $\text{kgf/m}^2$ );

$\alpha, \beta$  - unghiurile dintre linia frontului construcției și direcția curentului, respectiv a vântului.

Mărimile  $p_1, p_2, p_3, p_4$  se iau egale cu

$$p_1 = 0,5 v^2$$

$$p_2 = 50 d/L v^2$$

$$p_3 = 920 d$$

$$p_4 = 0,002 w^2$$

în care:

$v$  este viteza curentului sub gheață, egală cu  $0,8$  din viteza măsurată a curentului liber, în perioada acumulării sloiurilor ( $\text{m/s}$ ). Pentru  $v < 0,1$   $\text{m/s}$  se admite  $p_1 = p_2 = p_3 = 0$ ;

$d$  - grosimea câmpului de gheață (m);

$L$  - lungimea medie a câmpului de gheață, în lungul cursului de apă (m). Această lungime nu trebuie să fie luată mai mare decât de trei ori lățimea câmpului de gheață ( $l$ );

$i$  - panta cursului de apă,

$w$  - viteza vântului la un unghi de incidență  $45^{\circ} < \beta < 135^{\circ}$  și cu asigurare de 1% ( $\text{m/s}$ ).

Dacă lățimea construcției pe care acționează câmpul de gheață este  $l$ , atunci presiunea pe m, este:

$$p = p_{g.s.} / l \quad (7.39)$$

Împingerea dinamică datorită lovirii construcției de apărare de către sloiurile de gheață izolate care plutesc liber. Dacă direcția de plutire a sloiurilor este apropiată de linia construcției ( $\alpha = 80^{\circ} \dots 90^{\circ}$ ), valoarea presiunii este

$$p_{g.d.} = k v d \sqrt{a R} \quad (7.40)$$

pentru  $\alpha < 80^{\circ}$

$$p_{g,d} = k_1 v d \sqrt{a R_s \sin \varphi} \quad (7.41)$$

iar:

$$p_{g,dmax} = k_2 d R_s \quad (7.42)$$

în care:

$k$  este coeficient funcție de rezistența la strivire a gheții, cu valon între 2.3 - 4.3 ( $\text{tf/m}^3$ );

$v$  - viteza de mișcare a sloiului ( $\text{m/s}$ ); pe râuri și lacuri deschise, viteza se ia egală cu viteza apei; pentru lacuri închise, viteza se ia egală cu 0.4 - 0.6  $\text{m/s}$ ;

$d$  - grosimea sloiului de gheață ( $\text{m}$ ); se ia 0.8 din grosimile maxime cu asigurarea de 1%, observate într-o perioadă de mai mulți ani;

$a$  - suprafața sloiului ( $\text{m}^2$ ) luată pe baza observațiilor de pe teren sau prin analogie cu alte obiective;

$R_s$  - rezistența la spargere (cu luarea în considerare a strivirii locale a gheții) egală cu 75  $\text{tf/m}^2$ , iar pentru nivelurile cele mai înalte de curgere a sloiurilor egală cu 45  $\text{tf/m}^2$ ;

$R_s$  - rezistența la compresiune a gheții (fără considerarea strivirii locale), sa va lua 45  $\text{tf/m}^2$ ;

$k_2$  - coeficient care ține seama de contactul parțial a gheturilor cu construcția, egal cu 0.6 - 0.8 pentru stadiul inițial, respectiv pentru nivelul maxim de scurgere a gheturilor;

$k_1$  - coeficient funcție de tipul construcției; pentru pile se consideră 0.43; pentru pereți 0.7.

**Acțiunea de eroziune a sloiurilor asupra suprafeței construcției.** Pentru anularea efectelor acestei acțiuni se iau măsuri de protecție a suprafeței construcției prin placarea cu straturi de beton cu rezistență sporită.

În calcule se poate lua pentru coeficientul de frecare al gheții pe beton, valoarea:

$$f = 0.11$$

Forța de smulgere apare în momentul când gheața care s-a prins de mal sa pune în mișcare datorită curentului apei, antrenând astfel elementele din construcția de apărare, cum ar fi: dale de beton, pari, anrocamente, etc.

**Acțiunea gheții asupra construcțiilor cu taluz.**

La malurile care permit deformații sau la pereții înclinați, presiunea gheții se compensează, fie prin deformațiile malurilor, fie prin ridicarea gheții pe paramentul indicat.

Componenta verticală a împingerii se poate determina cu formula

$$V = R_s \lambda d^2 \quad (7.43)$$

iar componenta orizontală:

$$H = V \operatorname{tg} \alpha \quad (7.44)$$

în care:

$R_s$  - rezistența gheții la încovoiere ( $\text{tf/m}^2$ ) care se consideră egală cu 0.6  $R_s$ , determinată mai sus;

$\lambda$  - coeficient funcție de grosimea gheții, conform tabelului 7.9;

$d$  - grosimea sloiului de gheață ( $\text{m}$ );

$\alpha$  - unghiul taluzului cu orizontala.

Tabelul 7.9

VALORILE COEFICIENTULUI  $\lambda$

$d \text{ (m)}$	0.4	0.5	0.6...0.7	0.8...0.9	1.0...1.3
$\lambda \text{ (m}^{-1}\text{)}$	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04

**Presiunea gheții din spatele apărării.**

Gheața care se formează în spatele consolidărilor de maluri este cauza unor degradări însemnate mai ales la apărările din beton turnat pe loc, sub care nu s-a așezat un strat drenant sau un filtru invers de protecție corespunzător.

În aceste cazuri, apa nu se poate scurge din spatele apărării și prin înghețare exercită o presiune asupra plăcilor, fisurându-le.

## 7.5. FILTRU DE PROTECȚIE

7.5.1 Pentru combaterea fenomenului de antrenare a particulelor fine din taluzul protejat, de către curentii hidrodinamici ce se creează dinspre mal spre cursul de apă, se va așeza sub pereții de protecție un filtru invers, care constă din unul sau mai multe straturi de material granular, de piatră sortată cu rol filtrant drenant, așezate în ordinea crescândă a granulației, după sensul curentului de exfiltrație:

a) Îmbrăcămintile de protecție a malurilor sub formă de pereți etanșe se așează pe un pat drenant, alcătuit din 1...2 straturi drenante din materiale granulare:

- îmbrăcămintile de protecție sub formă de pereți permeabile se așează pe un filtru invers de protecție alcătuit din 1...3 straturi filtrante din materiale granulare;

- straturile drenante sau filtrante se execută vertical, înclinat sau orizontal, fenomenul de filtrație putându-se produce transversal, în lungul lor sau mixt.

7.5.2 Compoziția straturilor trebuie astfel aleasă încât să îndeplinească următoarele condiții:

- să nu aibă loc sub acțiunea curentului deplasarea granulelor în cadrul aceluiasi strat;

- particulele din stratul inferior să nu treacă prin porii stratului următor, construit din granule mai mari;

- particulele terenului protejat să nu fie extrase prin filtru decât cel mult în proporție de 5% din totalul fracțiunilor mai mici de 0.1 mm pentru a nu compromite rezistența terenului;

- să nu producă antrenarea particulelor la contactul dintre straturi, în cazul unui curent longitudinal.

Straturile drenante sau filtrante sunt alcătuite din nisipuri, balast, pietrișuri naturale sau piatră spartă concasată.

7.5.3 Grosimea straturilor constitutive ale filtrului se calculează cu relația:

$$f_i = 3.84 d_i \ln \frac{\psi_i}{4.5} \quad (7.45)$$

unda:

$f_i$  este grosimea stratului;



$\psi_1 = \frac{d_1}{d_1 - 1}$  - coeficientul interstrat la contactul dintre pământ și primul strat al

filtrului:

$d_1$  și  $d_1 - 1$  - diametrele medii a două straturi vecine;

$N = d_{80}/d_{10}$  - coeficientul de neuniformitate a stratului;

$d_{10}$  - diametrul efectiv, corespunzător greutatei de 10% din probă;

$d_{80}$  - diametrul de control care corespunde greutatei de 80% din probă, citită pe curba granulometrică

a) Pentru filtre de îmbrăcăminte la taluzuri se recomandă:

$$N \leq 6 \dots 8$$

$$\psi_1 = \frac{d_1}{d_0} < (10 \dots 15) 4,5 e^{0,28} \frac{f_1}{d_1} \quad (7.46)$$

$$\psi_1 = \frac{d_1}{d_1 - 1} < (10 \dots 15) 4,5 e^{0,28} \frac{f_1}{d_1} \quad (7.47)$$

unde:

$d_0$  - diametrul mediu al pământului protejat;

$e = 2,71828$  (număr adimensional).

Valorile inferioare 6 și 10 se adoptă pentru filtre la diguri de pământ și le contrabenchete de suport a îmbrăcămintei.

Valorile superioare (8...15) se adoptă la protecții de taluzuri.

7.5.4. Din motive constructive, la lucrările de epărare, grosimea filtrului nu poate fi mai mică de 10...15 cm.

7.5.5. Diametrul stratului superior "d" al filtrului, trebuie să verifice condiție:

$$d_n \geq 0,20 d_p \quad (7.47.1)$$

unde:

$d_p$  - este diametrul pietrei din pereu.

La protecțiile de piatră sub formă de enrocamente se poate utiliza filtru continuu dintr-un singur strat, alcătuit dintr-un amestec cu:

$$N = \frac{d_{80}}{d_{10}} < 5 \dots 6$$

cu

$$d_{80} \geq 0,20 \sqrt{\frac{g_m}{\gamma_p}} \quad (7.48)$$

unde:

$\gamma_p$  - greutatea specifică a pietrei;

$g_m$  - greutatea pietrei din enrocamente.

7.5.6. Filtru de protecție, folosit în practică se poate dimensiona și după tabelul 7.10 în funcție și de grosimea pereului sub care se așează.

În figura 78 se dau indicații de aplicare a filtrelor drenante mai des folosite:

Filtrul tip 1, alcătuit dintr-un strat de pietriș sau balast de 10, 15 sau 20 cm.

Filtrul tip 2, alcătuit din două straturi: nisip de 5 sau 10 cm și pietriș sau piatră spartă de 10 sau 15 cm.

Filtrul tip 3, alcătuit din două straturi: pietriș sau piatră spartă de 10 sau 15 cm și balast de 5 sau 10 cm.

Domeniul de aplicare:

Numărul de straturi și grosimea acestora se alege în funcție de natura materialului din care este alcătuit malul sau taluzul, de grosimea și felul îmbrăcăminții de protecție.

În funcție de natura materialului:

Tipul 1 se utilizează în cazul când taluzul este alcătuit din argile nisipoase compacte și nisipuri grosiere. Pietrișul poate avea dimensiunea de 3,5...6,0 cm.

Tipul 2 se utilizează când taluzul este alcătuit din nisipuri mijlocii. Nisipul grosier poate avea dimensiunea de 1...3 mm.

Tipul 3 se utilizează când taluzul este alcătuit din nisipuri fine sau nisipuri prăfoase. Când malul este alcătuit din balast, nu se prevede filtrul.

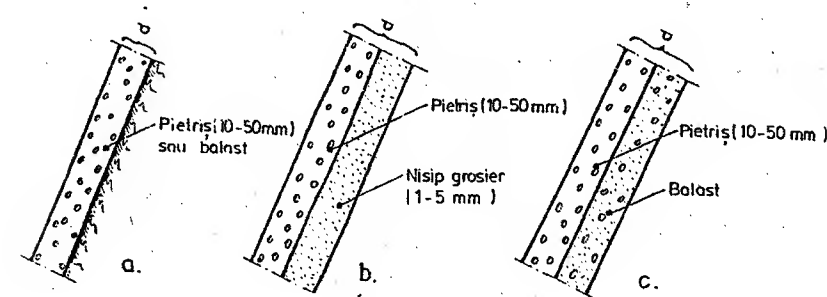


Fig. 82. Filtru de protecție

a) filtrul tip I, dintr-un strat de pietriș sau balast; b) filtrul tip II, din două straturi de pietriș și nisip; c) filtrul tip III, din două straturi de pietriș și balast.

Tabelul 7.10

GROSIMILE FILTRULUI DE PROTECȚIE ÎN FUNCȚIE DE GROSIMEA ÎMBRĂCĂMIȚII

g (cm)	Tipul I		Tipul II			Tipul III		
	$d_1$	d	$d_1$	$d_2$	d	$d_1$	$d_3$	d
10...20	10	10	10	5	15	10	5	15
	10	10	10	5	15	10	5	15
	10	10	10	5	15	10	10	20
23...30	15	15	10	10	20	10	10	20
	20	20	15	10	25	15	10	25
35...50	20	20	15	15	30	20	15	15
	25	25	20	20	40	25	25	50

Legendă:

- d - este grosimea filtrului de protecție;
- d<sub>1</sub> - grosimea stratului de pietriș;
- d<sub>2</sub> - grosimea stratului de nisip;
- d<sub>3</sub> - grosimea stratului de balast;
- g - grosimea îmbrăcăminții de protecție.

7.5.7. Filtrul de protecție din geotextile. Datorită rezistenței lor ridicate, permeabilității și ușurinței de instalare, geotextilele vor înlocui filtrul invers din material granular cu rol filtrant - drenant la apărările de maluri ale râurilor, lacurilor, digurilor ca și la lucrările permeabile sau impermeabile.

a) Criterii de dimensionare a filtrelor din geotextile. Alegerea unui filtru geotextil se face pe baza a două criterii:

- de reținere a particulelor de pământ de către geotextile, care previn antrenarea de către apă și
- de permeabilitate, potrivit căruia permeabilitatea unui geotextil folosit ca filtru trebuie să fie mai mare ca permeabilitatea pământului înmulțit cu un coeficient de siguranță egal cu 10.

Criteriul de reținere de către geotextile a particulelor de pământ este exprimat prin relație:

$$\frac{D_{95}}{d_{50}} \leq \frac{18}{U} \quad (7.49)$$

în care:

$\frac{D_{95}}{d_{50}}$  raport ce dă dimensiunea porilor geotextilelor (D);

$U = \frac{d_{60}}{d_{10}}$  - coeficient de uniformitate a pământului (d).

Potrivit acestui criteriu, geotextilele se recomandă a fi folosite astfel:

- pentru pământ compact, nisipos, geotextile puțin groase, ca Madril, Netesin neimpregnat;
- pentru pământ efănat geotextile subțiri și dense impregnate (Netesin 200 impregnat, Terasin) sau lipite termic;
- pentru pământ argilos, geotextile subțiri impregnate (Netesin 300);
- pentru pământ prăfos, geotextile mai dense (Netesin 550 impregnat, Terasin 600 impregnat).

Se mai recomandă ca la pământurile argiloase, să se eplice criteriului de reținere un coeficient de siguranță egal cu 10. Pentru celelalte pământuri, să se fecă aplicarea coeficientului de siguranță la criteriul de permeabilitate.

## 7.6 STABILITATEA ELEMENTELOR ÎMBRĂCĂMINȚILOR

7.6.1. Pentru stabilirea de ansamblu a îmbrăcăminții se deosebesc două cazuri.

- îmbrăcăminți etanșe,
- îmbrăcăminți permeabile.

Stabilirea elementelor îmbrăcăminților (pereurilor) se verifică din condițiile de:

- stabilitate la plutire,
- stabilitate la alunecare pe taluz.

7.6.2. Stabilitatea elementelor pereurilor etanșe:

- condiția de stabilitate la plutire este:

$$p < d \gamma_b \cos \alpha$$

- condiția de stabilitate la alunecare pe taluz este:

$$(d \gamma_b \cos \alpha - p) \tan \phi - d \sin \alpha \geq 0;$$

$$p \leq d \gamma_b \cos \frac{\tan \phi - \tan \alpha}{\tan \phi} \quad (7.50)$$

în care:

$p = (h_1 - h_2) \gamma$  este diferența de presiune între două puncte situate deasupra și dedesubtul pereului în punctul în care se face verificarea;

d - grosimea îmbrăcăminții (m);

$\gamma$  - unghiul de frecare între pereu și fundație sau unghiul de frecare interioară al materialului necoeziv al pereului;

$\alpha$  - unghiul de înclinare a pereului;

$\gamma_b$  - greutatea specifică a betonului sau a materialului îmbrăcăminții.

Din aceste condiții se deduce grosimea necesară a pereului etanș.

7.6.3. Stabilitatea elementelor pereurilor permeabile.

- condiția de stabilitate la plutire este:

$$\cos \alpha \sum_1^n [d_x (1 - m_x) \gamma_x + d_x m_x \gamma] \geq \gamma \left[ \Delta H + \cos \alpha \sum_1^n d_x \right] \quad (7.51)$$

- condiția de stabilitate la alunecare pe taluz este:

$$\sin \alpha \left\{ \sum_1^n [d_x (1 - m_x) \gamma_x + d_x m_x \gamma] - \gamma \sum_1^n d_x \right\} \tan \phi \left\{ \cos \alpha \sum_1^n [d_x (1 - m_x) \gamma_x + d_x m_x \gamma] - \gamma \left[ \Delta H + \cos \alpha \sum_1^n d_x \right] \right\} \quad (7.52)$$

în care:

$d_x$  este grosimea unui strat al filtrului cu n straturi;

$m_x$  - porozitatea stratului în procente;

$\gamma_x$  - greutatea specifică a materialului din stratul x;

$\Delta H$  - pierderea de sarcină în filtru.

7.6.4. Dimensiunile elementelor izolate ale pereului se pot determina cu relațiile:

a) Curent paralel cu malul:

$$d \geq \frac{\beta v^2}{\Delta 2g} \left[ \frac{1}{1 - \frac{\sin^2 \alpha}{\sin^2 \varphi}} \right] \quad (7.53)$$

în care:

$\beta$  este coeficientul care depinde de rugozitatea malului și turbulența mișcării:

$$\beta = 0,7 \dots 1,4$$

$$\Delta = \frac{\gamma_x - \gamma_a}{\gamma_a}$$

$\gamma_x$  - greutatea specifică a materialului;

$v$  - viteza maximă a curentului de întoarcere produs de nave în combinație cu alte viteze din canal.

b) Curentul perpendicular pe mal produs de un val deferlat:

$$d \geq \frac{\delta}{\Delta} \left[ \frac{h_{val}}{\cos \alpha - \sin \alpha} \right] \quad (7.54)$$

în care:

$\delta = 0,2 \dots 0,3$ , este un coeficient care depinde de panta taluzului și lungimea valului;

$h_{val} = 2h$  (m);

$\alpha$  - unghiul de înclinare a taluzului.

c) Curent longitudinal al malului combinat cu curenții de exfiltrație (elemente sub nivelul apei):

$$d \geq \frac{\beta v^2}{\Delta 2g} \left[ \frac{1}{\left( \cos \alpha - \frac{i}{\Delta} \right)^2 - \frac{\sin^2 \alpha}{\lg^2 \varphi}} \right] \quad (7.55)$$

în care:

$$\beta = 0,7 \dots 1,4;$$

$$i = \frac{\Delta H}{d_x}$$

d) Pentru zona taluzului din apropierea fundului, trebuie să se țină seama că efortul de antrenare ( $f_a$ ) pe taluz este aproximativ egal cu 0,75 din efortul de antrenare de pe fundul albiei,  $f_a = i \gamma_a h_m$ .

## 7.7 STABILITATEA APĂRĂRII DE MAL LA ALUNECARE

7.7.1 Stabilitatea la alunecare a unei apărări de mal se realizează prin contrabanchete din anrocamente din piatră brută, blocuri de beton, gabioane, etc., așezate la piciorul taluzului ce se protejează.

7.7.2. Forțele care acționează asupra apărării de mal pe unitatea de lungime de mal sunt următoarele.

$G_1$  și  $G_2$  - greutatea protejării și contrabanchetei cu luarea în considerare a pierderii greutății la scufundarea în apă;

$F_1$  și  $F_2$  - greutatea prismelor de apă Cbd și AabCBA.

Presiunea hidrodinamică este:

$$P_{h,d} = \frac{\gamma_a H_a v_m^2}{2g} \approx 51 H_a v_m^2 \quad (7.56)$$

Presiunea hidrostatică este:

$$P_{h,s} = \frac{\gamma_a H_a^2}{2} \quad (7.57)$$

în care

$\gamma_a$  - greutatea specifică a apei;

$H_a$  - înălțimea coloanei de apă;

$v_m$  - viteza medie a curentului de apă;

$g$  - accelerația gravitațională.

7.7.3. Stabilitatea maximă a apărării se realizează când coeficientul de stabilitate  $k_s = 1,3 \dots 1,5$ .

$$k_s = \frac{M_s}{M_t}$$

și unghiul  $\alpha_1 \leq \varphi$ ,

unde:

$\alpha_1$  - este unghiul de înclinare a taluzului;

$\varphi$  - unghiul de frecare interioară a materialului din versant.

Din această condiție se deduce mărimea necesară a contrabanchetei  $G_2$ .

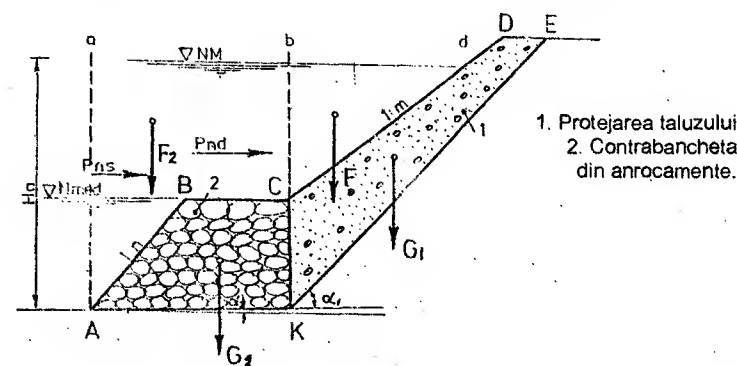


Fig. 83 Stabilitatea la alunecare a unei apărări de mal

7.7.4. În afară de stabilitatea generală, fiecare element component al contrabanchetei și apărării de mal trebuie să reziste la presiunea hidrodinamică a curentului și valurilor.

7.7.5. Dimensiunea anrocamentelor se calculează în acest sens cu formula sau, ori cu tabelul 7.2

7.7.6. În cazul apărării și consolidării unui mal alunecat, verificarea stabilității generale a lucrării se va face conform fig. 85 cu formula 7.69.

## 7.8. STABILITATEA ZIDULUI DE APĂRARE LA ALUNECARE

7.8.1. Zidurile de sprijin se vor dimensiona la împingerea pământului, ținând seama de caracteristicile fizico-mecanice ale stratificației terenului pe care-l susține, precum și de influența apei asupra valorii împingerii. Cazul cel mai defavorabil pentru un zid este atunci când după o viitură, terenul din spatele zidului este inundat (fig. 81).

Scăderea de nivel de pe cursul de apă producându-se mai repede decât scăderea de nivel din spatele zidului, acesta este supus la o împingere suplimentară datorită diferenței de nivel creată și micșorării caracteristicilor fizico-mecanice ale terenului.

În acest din urmă caz, apa acționează asupra valorii împingerii prin:

- micșorarea greutateii volumice a terenului imers (prin acțiunea subpresiunii);

- presiunea laterală a apei, care se adaugă la cea a terenului.

a) Presiunea laterală unitară la adâncimea  $h$  a pământului în stare uscată este:

$$p_{p.o.} = \gamma_s (1-n) k_a h \quad (7.58)$$

- scăderea datorită subpresiunii apei:

$$p_{p.o.} = \gamma_s (1-n) k_a t \quad (7.59)$$

- presiunea laterală a apei:

$$p_a = \gamma_a t \quad (7.60)$$

- presiunea laterală unitară totală va fi:

$$p_{p.t.} = [\gamma_s (1-n)h - \gamma_s (1-n)t] k_a + \gamma_a t \quad (7.61)$$

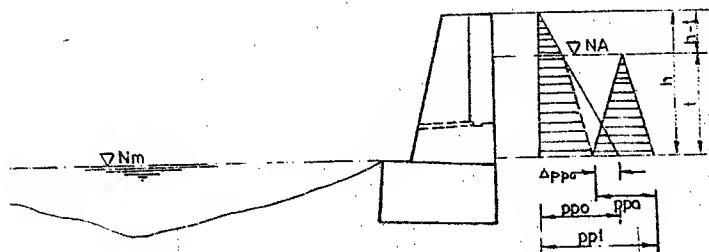


Fig. 84. Determinarea împingerii pământului în cazul unei diferențe de nivel hidrostatic.

unde

$\gamma (1-n)$  este greutatea volumică a pământului în stare uscată,  
 $n$  - porozitatea.

$t$  - înălțimea coloanei de apă,

$k_a = \tan^2 (45^\circ - \varphi/2)$  - coeficientul de împingere activă

Împingerea totală asupra zidului de sprijin va fi:

$$E_a = \frac{(p_1 + p_2)}{2} t + \frac{p_2(h-t)}{2} + \frac{p_a t^2}{2} \quad (7.62)$$

Practic se calculează împingerea separat pentru cele două zone, considerând la calculul cu apă, zona uscată ca suprasarcină și luând greutatea pământului în zona sub apă cu greutatea specifică:

$$\gamma' = (\gamma_s - \gamma_a)(1-n) \quad (7.63)$$

b) În cazul malurilor formate din deluvii sau conuri de dejecție așezate pe terenuri stabile, înclinate, împingerea pământului se va determina grafic prin una din metodele: Culmann, Rebahnn și metoda grafică a lui Poncelet.

c) În toate cazurile, partea de teren de deasupra apei se va considera ca suprasarcină având greutatea volumică ( $\gamma_a$ ):

$$\gamma_a = \gamma_s (1-n) \quad (7.64)$$

În cazul terenului uscat, și:

$$\gamma_s = \gamma_s (1-n) + \gamma_a n \quad (7.65)$$

În cazul terenului îmbibat cu apă, în urma scăderii nivelului apei pe cursul de apă, după o viitură.

Sprarsarcina se exprimă în acest caz ca o înălțime echivalentă de pământ submersat:

$$y = \frac{\gamma_a (h-t)}{\gamma_s - \gamma_a} \quad (7.66)$$

unde:

$y$  este înălțimea echivalentă de pământ submersat;

$h$  - grosimea totală a terenului din spatele zidului de apărare (sprijin);

$t$  - grosimea stratului de pământ submersat.

7.8.2. Adâncimea de fundare a zidurilor de apărare se determină din condiția de stabilitate, precum și din condiția siguranței contra afuienii, de adâncimea de îngheț și de adâncimea la care se găsește terenul bun de fundare.

7.8.3. Verificarea stabilității zidului se face prin metoda curbelor de alunecare (fig. 85).

7.8.4. Curba de alunecare cea mai periculoasă se deduce pe baza echilibrului la limită, în funcție de caracteristicile fizico-mecanice ale terenului pe care-l sprijină.

7.8.5. Această curbă corespunde unghiului de frecare minim. Dacă curba de alunecare se situează sub talpa fundației zidului proiectat, zidul nu va fi stabil. În acest

caz se va coborâ cota de fundare cu minimum 1 - 1,5 m sub curba de alunecare, la muchia din față

7.8.6. Dacă curba de alunecare se află deasupra tălpii fundației cu minimum 1 - 1,5 m deasupra muchiei din față, zidul va avea stabilitatea asigurată, cu condiția ca presiunea pe talpa fundației să nu depășească presiunea admisibilă

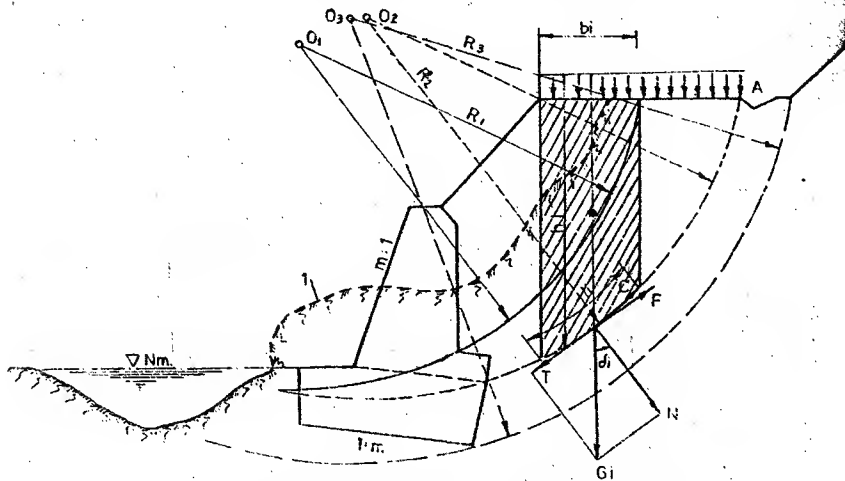


Fig. 85 Verificarea stabilității zidului de apărare:

1- teren alunecat,  $C = cl$  - coeziunea pe curba de alunecare;  $G = b, h, \gamma_s$ ;  
 $T = G \sin \delta_1$ ;  $N = G \cos \delta_1$ ;  $F = f N = f G \cos \delta_1$ ;  $f = \tan \phi$  - frecarea pe curba de alunecare;  
 $R$  - raza suprafeței de alunecare cilindrică.

7.8.7. Coeficientul de frecare în condițiile echilibrului la limită se află din condiția de momente față de centrul curbei de alunecare (cerc), coeficientul de siguranță  $K_s = 1$ .

$$f = \frac{K_s \sum T - \sum cl + \sum T'}{\sum N} = \frac{\sum T - \sum cl + \sum T'}{\sum N} \quad (7.67)$$

7.8.8. Dacă din foraje se poate deduce curba de alunecare, se verifică dacă stabilitatea generală este satisfăcută, determinându-se  $K_s$  cu formula:

$$K_s = \frac{\sum fN + \sum cl - \sum T'}{\sum T} \quad (7.68)$$

unde:

$T$  reprezintă alunecarea pe curba descendentă cu componenta tangențială a greutatei masivului care alunecă

$T'$  - alunecarea pe curba ascendentă, contrar cu  $T$ , și depinde de  $f$ ,

$N$  - componenta normală la curbă a greutatei masivului care alunecă;

$C$  - coeziunea materialului pe curba de alunecare ( $cl$ );

$f$  - coeficientul de frecare pe curba de alunecare.

Coeficienții de frecare ( $f$ ) se găsesc în tabelele 7.11 și 7.12.

7.8.9. Pentru stabilitate,  $K_s$  trebuie să fie egal cu 1,3 - 1,5.

7.8.10. După determinarea curbei de alunecare și a coeficientului de frecare respectiv, se dimensionează zidul de sprijin la împingerea dată de expresia:

$$E = \frac{R_1}{R_1 - \frac{h}{3}} \left( \sum T - f \sum N - \sum cl \right) \quad (7.69)$$

în care:

$R_1$  este raza suprafeței cilindrice de alunecare.

Dacă nu se ține seama de coeziune, formula devine:

$$E = \frac{R_1}{R_1 - \frac{h}{3}} \left( \sum T - f \sum N \right) \quad (7.70)$$

Stabilitatea zidului se realizează fundând zidul sub cota de alunecare și sub adâncimea de afuiere.

7.8.11. Se recomandă ca în cazul alunecărilor, la calculul stabilității să nu se țină seama de coeziune pe curba de alunecare.

## COEFICIENȚII DE FRECARĂ "f"

Tabelul 7.11

Nr. crt.	Denumirea materialului	Coeficientul de frecare (f) la alunecare
<b>1. Zidări și betoane</b>		
1	Zidărie de piatră brută pe zidărie	0,75
2	Beton pe beton	0,65
3	Zidărie de piatră brută pe beton	0,70
4	Zidărie de piatră brută și beton pe pământ uscat și tare	0,65
5	Zidărie de piatră brută și beton pe pământ argilos umed	0,30
6	Zidărie de piatră brută și beton pe pământ argilos îmbibat cu apă	0,20
7	Zidărie de piatră brută și beton pe nisip uscat	0,55
8	Zidărie de piatră brută și beton pe nisip îmbibat cu apă	0,45
9	Gabion pe gabion	0,70
10	Granit cu finisare brută pe granit	0,73
11	Granit cu finisare brută pe beton	0,60
12	Granit finisat pe granit finisat sau pe beton	0,50
13	Zidărie de piatră sau beton pe zidărie uscată de piatră	0,70...0,80
14	Zidărie de piatră sau beton pe anrocamente, în apă	0,50...0,60
15	Anrocamente pe pământ vegetal sau nisipos, uscat	0,50...0,70
16	Anrocamente pe pământ vegetal sau nisipos, în apă	0,40...0,50
17	Zidărie de piatră sau beton pe pământ vegetal, uscat	0,45...0,65
18	Zidărie de piatră sau beton pe pământ vegetal, în apă	0,30...0,40
19	Anrocamente pe argilă uscată	0,35...0,45
20	Anrocamente pe argilă, în apă	0,30...0,33
21	Între pietrele anrocamentelor uscate sau din apă	0,70...0,82
<b>2. Pământ pe pământ</b>		
22	Nisip afânat uscat	0,58...0,70
23	Nisip afânat umed	0,62...0,84
24	Nisip îmbibat cu apă	0,36...0,47
25	Argilă uscată	0,84...1,00
26	Argilă îmbibată cu apă	0,36...0,58
27	Pietriș (prundiș) uscat	0,70...0,84
28	Pietriș (prundiș) îmbibat cu apă	0,58
29	Pământ mălos, compact, uscat	0,84...1,20
30	Pământ mălos îmbibat cu apă	0,36...0,47
31	Nisip afânat pe zidărie de piatră sau beton, la uscat	0,60...0,70
32	Nisip afânat pe zidărie de piatră sau beton, în apă	0,30...0,50
33	Pietriș (prundiș) pe zidărie de piatră sau pe beton, la uscat	0,50...0,60
34	Pietriș (prundiș) pe zidărie de piatră sau pe beton, în apă	0,40...0,50

<b>3. Căsoaie de lemn</b>		
35	Căsoaie pe anrocamente	0,58...0,60
36	Căsoaie pe nisip uscat	0,45
37	Căsoaie pe nisip în apă	0,35
38	Căsoaie pe pământ argilos îmbibat cu apă	0,25
39	Căsoaie pe pământ vegetal uscat	0,40...0,50
40	Căsoaie pe pământ vegetal în apă	0,30...0,40
<b>4. Diverse materiale</b>		
41	Lemn pe piatră la uscat	0,60
42	Lemn pe lemn, de-a lungul fibrelor, la uscat	0,50
43	Lemn pe lemn, de-a lungul fibrelor, cu ungere	0,30
44	Lemn pe otel, în stare uscată	0,55
45	Lemn pe otel, în apă	0,65
46	Gheață pe beton	0,11

Tabelul 7.12

VALORILE UNGHURIILOR DE FRECARĂ "α"  
COEFICIENȚII DE FRECARĂ "f" ȘI COEZIUNE "C"

Nr. crt.	Categoria pământului	Unghiul de frecare α°	Coeficient de frecare f	Coeziunea C (t/m)
1.	Pământ argilos mărunț îmbibat cu apă	29° 34'	0,57	1,70...2,20
2.	Pământ argilos, foarte umed	8° 40'	0,14	1,93...2,19
3.	Pământ argilos uscat	8° 40'	0,15	2,61...3,20
4.	Pământ argilos luat din rambleu	10° 40'	0,19	1,80...2,68
5.	Nămol nisipos	30° 10'	0,58	2,0
6.	Nisip nămolos	30°	0,58	2,0
7.	Nisip mărunț dens, uscat	33°	0,65	-
8.	Pământ argilos moale	20°	0,36	0,50
9.	Loess	17°	0,31	0,40
10.	Argilă nisipoasă	25°	0,46	-
11.	Nisip uscat	34°	0,67	-
12.	Nisip cu cantitate mică de argilă	30°	0,58	2,0
13.	Nisip amestecat cu prundiș	34°	0,67	5,0
14.	Pământ argilos moale	6°	0,11	5,0
15.	Pământ argilos foarte plastic	8°	0,14	7,5
16.	Pământ argilos dur	12°	0,21	10,0

## BIBLIOGRAFIE

1. R. J. Bally, V. Perlea, 1983. — *Digun și baraje din materiale locale pe terenuri slabe de fundare*, Editura Ceres.
2. A. Băicescu. — *Căsoaie din elemente prefabricate din beton umplute cu material local*, ICPGA Proiect 1624/67.
3. V. Băiloiu, 1967. — *Combaterea eroziunii solului și regularizarea cursurilor de apă*. Editura Didactică și Pedagogică.
4. D. Bătucă, 1981. — *Contribuții la rezolvarea unor probleme de morfologia albiilor râurilor și canalelor*. Teză doctorat IANB.
5. M. Botzan, 1984. — *Apele în viața poporului român*. Editura Ceres.
6. S. Boeru, R. Mîndru, 1970. — *Îndiguiri*. Editura Ceres.
7. M. Brehoiu, 1983. — *Aplicarea proiectelor și modulelor tip la lucrările de regularizare a albiilor*. CNA — ICPGA — DA — Prut, Consfătuirea de lucru, Iași.
8. P. G. Chiselev, 1953. — *Îndreptar pentru calcule hidraulice*. Editura Energetică de Stat.
9. V. Chiriac, A. Filotti, I. A. Manoliu, 1980. — *Prevenirea și combaterea inundațiilor*. Editura Ceres.
10. S. Hâncu, 1976. — *Regularizarea albiilor râurilor*. Editura Ceres.
11. N. G. Ioan, A. N. Ioan, 1983. — *Îndrumător pentru dimensionarea construcțiilor hidrotehnice*. Editura Ceres.
12. D. V. Joglekar, 1971. — *Manual on river behaviour control and training*. New Delhi.
13. L. Kellner, D. Botzan, 1983. — *Elemente constructive pentru protecția malurilor realizate din geotextile țesute*. Revista Hidrotehnica nr. 1.
14. P. Kellner, S. Boer, L. Kellner, 1986. — *Apărarea digurilor*. Editura Ceres.
15. M. Lateș, E. Zaharescu, 1972. — *Apărarea malurilor și protejarea taluzurilor*. Editura Ceres.
16. S. Leutschaft, 1983. — *Realizarea și comportarea lucrărilor pentru apărarea malurilor cursurilor de apă din zona de vest a țării*. CNA; ICPGA; DA; Prut, Iași.
17. I. A. Manoliu, 1973. — *Regularizări de râuri și căi de comunicații pe apă*. Editura Didactică și Pedagogică.
18. C. Mitoiu, 1983. — *Concepții actuale cu privire la soluțiile de regularizare a albiilor cursurilor de apă*. CNA; ICPGA; DA Prut, Iași.
19. C. Mitoiu, 1988. — *Proiectarea lucrărilor de regularizări de râuri și îndiguiri*. AMC, IANB, București.
20. S. Neicu, 1983. — *Determinarea nivelurilor maxime în situația naturală și în condiții de regularizare a albiilor. Criterii și posibilități de aplicare a programelor de calcul UNDA și MIPE*. CNA; ICPGA; DA Prut Iași.
21. R. A. Pop, 1981. — *Construcții și amenajări hidrotehnice*. Editura Tehnică.
22. C. Sărau, 1983. — *Contribuții privind îmbunătățirea soluțiilor de regularizare a cursurilor de apă*. Revista Hidrotehnica nr. 7.
23. I. Teodorescu, Al. Florescu, 1970. — *Probleme actuale de combatere a inundațiilor*. ICDT.
24. *Instrucțiuni tehnice pentru proiectarea lucrărilor de regularizări de râuri*. ICPGA, 1985.
25. *Normativ departamental privind proiectarea lucrărilor de apărare a drumurilor, căilor terate și podurilor*. MTT, IPTANA, ID, 161/85.